

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS FÜZETEK

2

PÁLFALVI ATTILA
PORKOHÁSZAT



AZ ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET KIADÁSA
KOLOZSVÁR 1993

Az Erdélyi Múzeum-Egyesület
Műszaki Tudományi Szakosztályának
kiadványai

Szerkeszti
Jenei Dezső



Készült a Református Egyház Misztótfalusi Kis Miklós
Sajtóközpontjának nyomdájában
Felelős vezető Tonk István

DOI: 10.36242/mtf-02

Bevezetés

Porkohászat a modern technikában

A porkohászat a korszerű technikának egy viszonylag új és igen fontos ága, amelyik az utóbbi évtizedekben látványos fejlődésen ment át, főleg termékeinek műszaki és gazdasági előnyei, valamint egész sor új, különleges tulajdonságokkal rendelkező anyag előállításának lehetősége miatt. A fémporokat és az ezekből készült anyagokat és termékeket egyre szélesebb körben használják a gépgyártóiparban, a vegyiparban és a festékek gyártásában, az elektrotechnikai és elektronikai iparban, de számos, látszólag igen távol álló területen is, mint például egyes mezőgazdasági magok mágneses tisztítására, vagy az építőiparban elterjedten alkalmazott habbeton (BCA) gyártásánál. Érdemes megjegyezni, hogy az autók, varrógépek, magnetofonok, videokazettofonok, elektromos háztartási gépek, rádiók, televíziós vevőkészülékek, elektromos mérőkészülékek, de még az űrrakéták korszerű gyártása sem képzelhető el a fémporokból készült speciális anyagok és termékek felhasználása nélkül.

A porkohászat egyre szélesebb alkalmazásával jelentős megtakarításokat lehet elérni a fémek felhasználása terén, különös tekintettel a drága vagy nehezen beszerezhető fémekre; visszanyerhetővé és újrafelhasználhatóvá válik egész sor anyag és hulladék, igen előnyös feltételek között; sok anyag és speciális termék importja csökkenthető, és ami talán a legfontosabb, jelentősen javítható számos gép, műszer és berendezés minősége, ezek műszaki paraméterei és üzembiztonsága, amelyek így sokkal keresettebbekké és versenyképesebbekké válnak a hazai és külföldi piacokon.

A zsugorított (szinterizált) termékek gyártástechnológiája alapvetően különbözik a klasszikus — kohászaton alapuló — gyártási eljárásoktól, ahol a megolvasztott fémek és ötvözetek öntése útján nyert félgyártmányokból hengereléssel, kovácsolással vagy különböző szerszámgépeken végzett, igen sok műveletet igénylő és nagyon költséges forgácsoló megmunkálással jutnak el a végeredményig. Porkohászati úton való gyártásuk során a végeredményekig a fémek vagy ötvözetek megolvasztása nélkül jutunk el. Nincs szükség tehát öntésre, hengerelésre, esztergálásra, gyalulásra, marásra, fúrásra, nem képződik közben fémforgács, nincsenek anyagvesztések, ami végső soron igen jelentős fém-, idő- és munkamegtakarításhoz vezet, szabaddá téve a drága szerszámgépek megmunkáló kapacitásának jelentős részét is más gyártmányok előállítására.

A porkohászati technológia alkalmazásánál különböző módszerekkel először is a szükséges fém- és ötvözetporokat kell előállítani, amelyeket adagolás és homogenizáló keverés után tömörítő sajtolással megfelelő acélmaticákban félkész darabokká alakítanak, és ezeket zsugorításnak vetik alá, ami nem más, mint specifikus hőkezelés védőgáz atmoszférában. Ezen a rövid és igen egyszerű úton el lehet jutni a kívánt alakú és méretű gépkatrészekig, amelyek felülete is nagyon jó minőségű, tehát közvetlenül beszerelhetők a gyártott gépekbe és berendezésekbe. A zsugorítás hőmérséklete mindig alacsonyabb kell hogy legyen az adott fém vagy az adott porkeverék fő alkotójának olvadáspontjánál. A zsugorítás után egyes esetekben még más befejező műveleteket is szoktak alkalmazni (kalibráló sajtolás, a porózus termékeknek olajjal való átítatása, megolvasztott fémekkel történő impregnálás, hőkezelés, termokémiai kezelés stb.).

A porkohászati úton gyártott anyagok és termékek kémiai összetétele igen pontos és egyenletes. Ennek megfelelően tulajdonságaik is állandóak és az előírásoknak megfelelőek. Sok esetben lehetővé válik a nehezen hozzáférhető és drága anyagok olcsóbbakkal történő helyettesítése. Más esetekben olyan termékeket lehet előállítani, melyek a klasszikus kohászati eljárásokkal nem gyárthatók, mint például a volfrám, a molibdén és réz-volfrám alapú állóötvözetek, a villamos gépeknél használt réz-grafit alapú áramszedőkefék stb. A porkohászat egyik különös és jellemző előnye az, hogy lehetővé

teszi a kívánalmaknak pontosan megfelelő és irányítható porushálózattal rendelkező porózus anyagok és termékek gyártását, amelyek tulajdonságai ezáltal széles határok között változtathatók. Így a porózus csapágyak olajjal átitatva önkenőkké válnak, és hosszú évekig működhetnek tökéletesen minden utólagos olajozás vagy kenés nélkül a különböző készülékekben és gépekben, mint például az irodagépek, kis villanymotorok, ventilátorok, mezőgazdasági kisgépek, magnetofonok, lemezejátszók, videokazetefonok, mosógépek, villanyborotvák stb.

Másik fontos előnye a porkohászatnak, hogy a gyártástechnológiában messzemenően univerzális gépeket és berendezéseket használnak (malmok, homogenizátorok, prések, zsugorítókemencék, olajjal átitató berendezések), és így a termékek váltásánál kizárólag csak a préselő és kalibráló szerszámokat kell cserélni. A termelésben szükséges műveletek egyszerűsége lehetővé teszi a gyártás majdnem teljes gépesítését, automatizálását és robotizálását minimális munkáslétszám foglalkoztatása mellett. Így a munka termelékenysége ezekben a gyárakban szokatlanul magas, és lehetővé válik olcsó, nagy sorozatú ipari előállítás a pontos és jó minőségű gépalkatrészeknek és más porkohászati termékeknek. Az automata prések 25–30 nyersdarabot sajtolnak a porkeverékből percenként, ami három váltásra számolva több mint 40 000, sokszor elég komplikált alkatrész legyártását teszi lehetővé naponta, mindössze négy vagy öt munkással.

A porkohászati anyagok és termékek felhasználásával és beszerelésével jelentősen javíthatók a gépek, műszerek és berendezések műszaki jellemzői, csökkenthető a súlyuk, olcsóbbak lesznek, és növelhető a versenyképességük.

A felsorolt előnyök mellett a porkohászat alkalmazási lehetőségeit a gépgyártásban korlátozza a fémporok viszonylag magas ára és a bonyolult sajtoló és kalibráló szerszámok nagy gyártási költségei, amelyek csak nagyobb sorozatban történő termék-előállításoknál fizetődnek ki. Az előállítható munkadarabok és termékek méreteit a rendelkezésre álló vagy beszerezhető mechanikus és hidraulikus prések maximális nyomóereje határolja be. Másik, a tervezésnél figyelembe veendő szempont, hogy a fémporokból gyártott gépalkatrészek általában nem olyan tömörek, mint az öntött vagy süllyesztékben kovácsolt darabok, és ha nagyobbra kell beállítani a porozitásukat, ezzel arányosan csökkennek a szilárdsági tulajdonságaik.

Fémporok gyártása

A világ számos országában egyre nagyobb jelentőséggel bíró új gyártási technológia, a porkohászat alapanyagát a fémporok képezik. A legnagyobb mennyiségben a vasporokat használják fel, világviszonylatban évi több százezer tonnás mennyiségben.

A porok anyaga lehet egy tiszta fém, egy ötvözet vagy egy fémvegyület (karbid, nitrid, borid, oxid stb.). Sok esetben a porkeverékhez nemfém-porokat is adagolnak (grafit, cinksztearát kenőanyagként stb.). A keverék összetételét a kitűzött cél és a készenre zsugorított anyag megkívánt tulajdonságai határozzák meg.

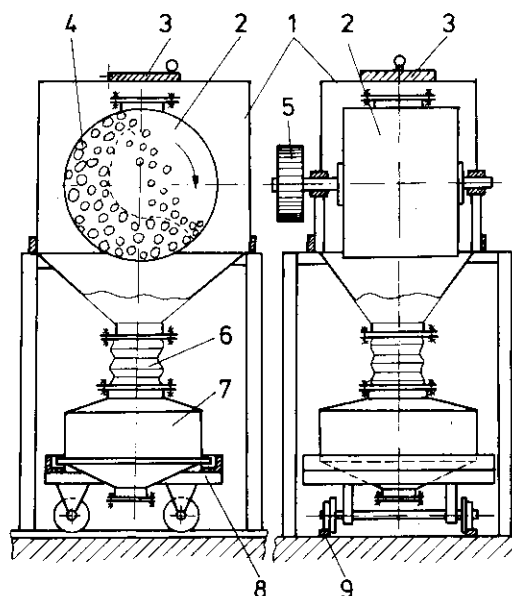
A fémporokat alkotó szemcsék méretei tág határok között változhatnak, de a gyakorlatban ezekre a célokra az egy ezredmilliméter ($1\ \mu\text{m}$) és a 0,4 mm-es határok közötti porokat alkalmazzák.

A mai ipari gyakorlatban számos módszer szerint gyártanak fémporokat, és így ezek kémiai összetételük, tisztaságuk és fizikai, illetve technológiai tulajdonságaik szerint igen különbözőek, ami lehetővé teszi, hogy minden felhasználási területre a legmegfelelőbb port lehessen kiválasztani.

A porok előállítási módszereit két csoportba lehet osztani: *mechanikai módszerek* (forgácsolás, őrlés különböző típusú malmokban, megolvasztott fémek és ötvözetek porlasztása stb.) és *fizikai-kémiai módszerek* (fémek redukálása oxidjaikból, vizes oldatok elektrolízise, sóoldatok elektrolízise, fémkarbonilok hőbontása stb.).

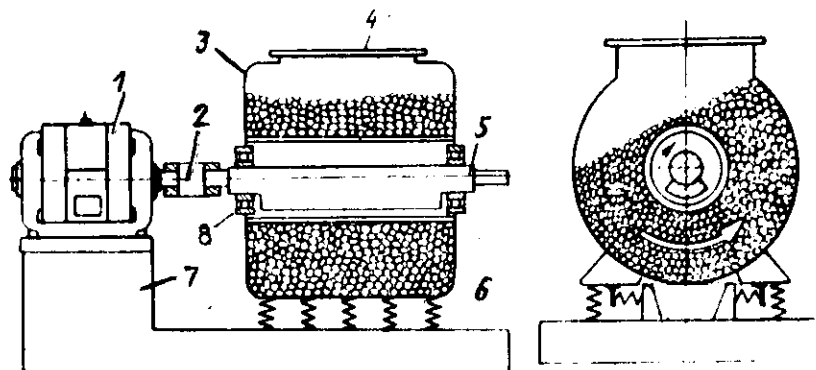
A *forgácsolást* közvetlen fémporgyártásra nagyon ritkán használják, annak ellenére, hogy a forgácsoló megmunkálásnál óriási mennyiségben keletkező hulladék olcsó nyersanyag lehetne a fém- és ötvözetporok gyártásához őrléssel vagy más módszerekkel. Mivel itt a gyakorlatban sok nehézség és hátrány jelentkezik, a mai számítások szerint a fémporgácsolásból kiinduló porgyártás nem kifizetődő.

A *golyósmalmokban való őrlést* (1. ábra) gyakran alkalmazzák a viszonylag törékeny anyagok, fémek és előötvözetek aprítására (különböző ferroötvözetek, Al-Fe és Al-Si-Fe ötvözetek, karbidok, valamint az elektrolízis útján nyert porózus vagy törékeny katódlemezek). A puha és szívós fémeket és ötvözeteket előzőleg folyékony fázisból



1. ábra. Golyósmalom: 1 – védőburkolat; 2 – őrlődob; 3 – zárójtó; 4 – golyók és az őrlendő töltet; 5 – meghajtó fogaskerék; 6 – gumival átitatott porfogó vászontömlő; 7 – szállítótartály; 8 – kocsi; 9 – sín pár.

porlasztják, és azután őrlik a kívánt finomságra (például a finom alumíniumporok gyártásánál). Finom porok gyártásánál sokkal jobb hatásfokkal dolgoznak a vibrációs golyósmalmok (2. ábra), ahol a rugalmasan felfüggesztett őrldob rezgő mozgást végez 900–3000-es frekvenciával és néhány mm-es amplitúdóval (kilengéssel). Ilyen malmokban őrlik a nagyon finom alumínium-, volfrám-, karbid- és titánkarbidporokat, valamint a ferrit- és vasoxidporokat a zsugorított mágnesek, illetve magnetofonszalagok gyártásához, a kerámia- és grafitporokat stb. Újabban kezdték alkalmazni szélesebb körben a planetáris golyósmalmokat és az attritorokat is.



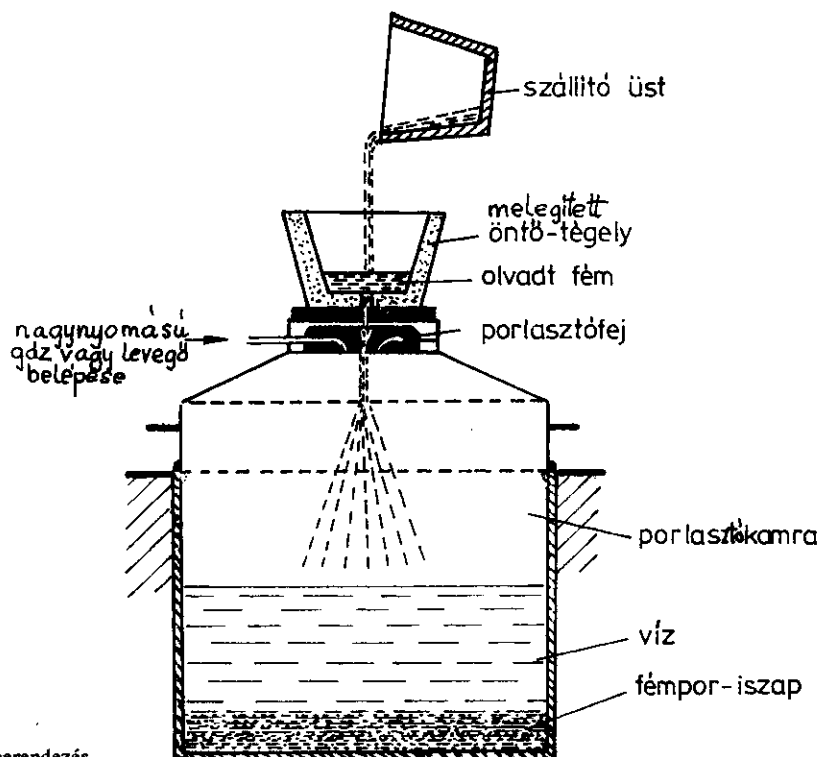
2. ábra. Vibrációs golyósmalom: 1 — meghajtó motor; 2 — rugalmas összekapcsoló tengely; 3 — őrldob; 4 — töltő és ürítő ajtó; 5 — excentrikus súllyal ellátott tengely; 6 — spirálrugós felfüggesztő rendszer; 7 — malomtest; 8 — golyóscsapág.

A folyékony fázisból történő porlasztás elvét a 3. ábra mutatja be. Itt a vékony, olvadt fémsugarat, amelyik egy kerámia fúvókán folyik ki, magasnyomású levegő-, gáz- vagy vízszugárral támadják meg, és az így keletkező igen finom fémcseppek megszilárdulva a porlasztókamra alján levő vízben rakódnak le iszap formájában. A könnyen oxidálódó fémek esetében célszerű argont vagy más nemes, illetve semleges gázt alkalmazni. A korszerű, nagy kapacitású ipari porlasztóberendezésekben igen magas nyomású (100–180 daN/cm²) vízzel porlasztanak a legtöbb esetben. Nagy előnye ennek a ma mind szélesebb körben alkalmazott eljárásnak, hogy óránként 3–10 tonna por is legyártható egy porlasztótoronyban.

A fémoxidok redukálása magas hőmérsékleten, szilárd vagy gáznemű redukáló közeg alkalmazásával, szintén igen elterjedt módszer a különböző fémporok gyártására. Így gyártják vasoxidokból a vasporok közel 50%-át és a legtöbb Ni, Cu, Co, W, Mo stb. port is. A nagy tisztaságú fémporokat hidrogénnel redukálják, és ezekből gyártják azután a volfrámot, a molibdént, a lágy és kemény mágnesanyagokat, valamint a keményfémeket.

A nagy tisztaság mellett a redukált porok fő előnye a porszemcsék szivacsos szerkezete által biztosított igen nagy préselhetőség.

Az elektrolízis módszerénél fémsók vizes oldatán vagy ezek olvadékán keresztül egyenáramot vezetnek át, és ennek hatására megfelelő körülmények között a fém nagy kémiai tisztaságú porózus réteg vagy direkt fémpor alakjában válik ki a katódon. Vizes oldatokból leginkább réz-, vas-, ón-, ezüstporok készülnek. Fémsóoldatok elektrolízise útján tantál-, nióbbium-, tórium-, cirkónium- és uránporokat gyártanak. Az így nyert fémporok minőségét és tulajdonságait elsősorban az elektrolit összetétele, koncentrációja és hőmérséklete, valamint az alkalmazott elektromos áramsűrűség határozza meg. A szemcsék alakja itt legtöbbször dendrites, a szivacsos szerkezet jó préselhetőséget biztosít, és a porok kémiai tisztasága igen nagy. Ezen tulajdonságokból következik, hogy a sajtolts nyersdarabok zsugoríthatósága is igen jó. Az annyira jelentős rézporok ipari gyártásánál



3. ábra. Porlasztóberendezés.

az elektrolízis a világviszonylatban is legelterjedtebb eljárás. Ezzel szemben a vaspороk esetében ritkán alkalmazzák a por igen magas ára miatt. Így csak speciális, nagy tisztaságú vaspороkat gyártanak kis mennyiségben, főként az igényes mágnesanyagok előállítására.

A karbonil módszer esetében a vas- vagy nikkelkarbonil, illetve ezek keverékének hőbontásával állítják elő a nagy tisztaságú és nagyon jó minőségű vas-, nikkel- vagy vas-nikkelötvözet porokat, amelyek nagyon előnyös tulajdonságokkal rendelkeznek és igen keresettek, különösen egyes mágneses anyagok gyártásánál.

Fémporok sajtolása acélszerszámokban

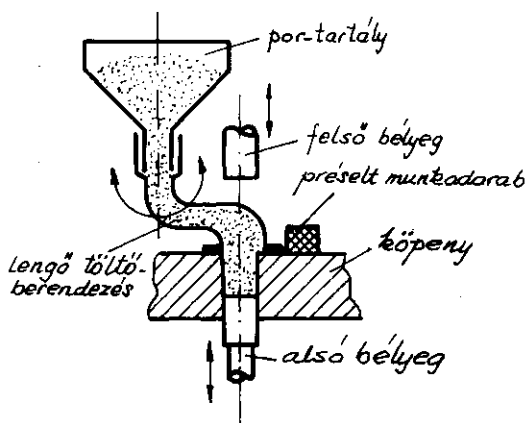
Az ömlesztett porkeveréket különböző formázó módszerekkel lehet tömöríteni. Az alkalmazott nyomás nagyságától függően a fémporokból egy többé-kevésbé szilárd testet kapunk (nyers munkadarab), melynek tömörsége függ a formázás konkrét technológiai körülményeitől. A formázással biztosítani kell egy megfelelő alaktartósságot, hogy a nyers munkadarab kibírja a közbenső szállító- és átrakóműveleteket, egészen a zsugorító kemencébe való berakásig. A tömörítő művelet után a nyersdarab alakja és mérete, a zsugorodási és kalibrálási ráhagyások figyelembevételével, meg kell hogy feleljen a késztermék alakjának és méreteinek.

A porból formázott nyersdarabok tömörsége és mechanikai szilárdsága erősen függ a keverék összeállításához felhasznált porok fizikai és technológiai tulajdonságaitól, a tömörítő nyomás nagyságától, a préselő erők alkalmazásának módjától (egyoldalú,

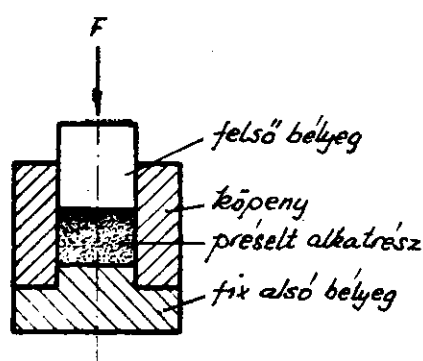
kétoldalú vagy minden irányból ható sajtolás), a munkadarab alakjától és méreteitől, a tömörítéshez felhasznált kenőanyag hatékonyságától és a formázás hőmérsékletétől (hideg- vagy melegformázás).

A fémporok vagy keverékek tömörítése, sajtolása és a nyers munkadarabok előállítása legtöbbször acélmatricákban (présszerszámokban) való sajtolással történik, de alkalmaznak különleges formázási technológiákat is, mint a fémporkeverékek melegsajtolása, izosztatikus sajtolása, hengerlése, extrudálása (rúdsajtolása), robbantásos tömörítése stb. Bizonyos esetekben a végterméket előzetes sajtolás nélkül is elő lehet állítani: a porból és megfelelő folyadékból készített pépet (fémpor szuszpenziót) gipszformákba öntik, a porkeveréket egyszerűen beszórják a megfelelő alakú és méretű zsugorítóformákba, a porkeveréket a formákban vibrálással tömörítik stb.

Gépalkatrészek gyártásánál rendszerint a fémporkeverék acél sajtolószerszámban történő préselését alkalmazzák, mivel ez a módszer képes a legjobban biztosítani a megkövetelt nagy méretpontosságot, a néha elég komplikált alakú darabok létrehozását, a felületek szükséges minél jobb minőségét, a föltétlenül megkövetelt nagy termelékenységet, és ez a gyártási folyamat a legkönnyebben gépesíthető, automatizálható és robotizálható.



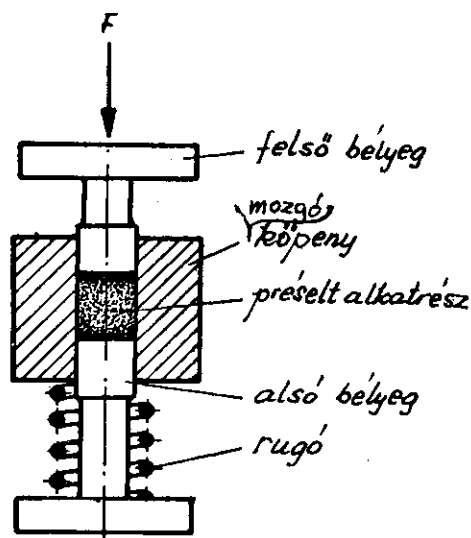
4. ábra. Az önműködő formázó prések működési elve.



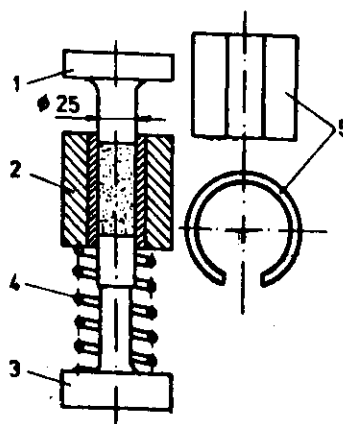
5. ábra. Az egyoldalú sajtolás elve.

Az egy munkadarab sajtolásához szükséges fémpermennyiség beadagolása a présszerszámba elvégezhető automata mérlegen történő beméréssel, de ez a módszer sorozatgyártásnál nem elég operatív, vagy úgynevezett térfogattöltéssel, ahol a nagy termelékenységre alkalmas prések el vannak látva egy önműködő adagolóberendezéssel. A 4. ábrán bemutatott elv alapján ez az adagolóberendezés tölti meg mindig pontosan egyformán a szerszámműreget, és ugyanakkor félretolja az előzőleg készre sajtolt és a szerszámból már kitolt (kidobott) nyers munkadarabot, majd visszahúzódnak lehetővé teszi a tulajdonképpeni sajtolást.

Az egyoldalú sajtolásnál az alsó bélyeg nem mozog (5. ábra), és csak a felső bélyeg tömöríti a beadagolt permennyiséget, de az így préselt nyers munkadarabban a sűrűség nem eléggé egyenletes. Mind a sűrűség, mind a keménység fokozatosan csökken az aktív (mozgó) bélyegtől való távolodással. Ennek a tömörségben mutatkozó egyenlőtlenségnek az oka a porszemcsék és a sajtolószerszám belső fala között fellépő súrlódóerő, amelyik fékezi préselés közben a por lefele történő mozgását, illetve tömörödését. Mivel ez a hátrányos sűrűségkülönbség nő a sajtoló munkadarab növekvő magasságával, az ipari gyakorlatban az egyoldalú sajtolást csak az egészen kis darabmagasságoknál alkalmazzák.



6. ábra. A kétoldalú sajtolás elve.

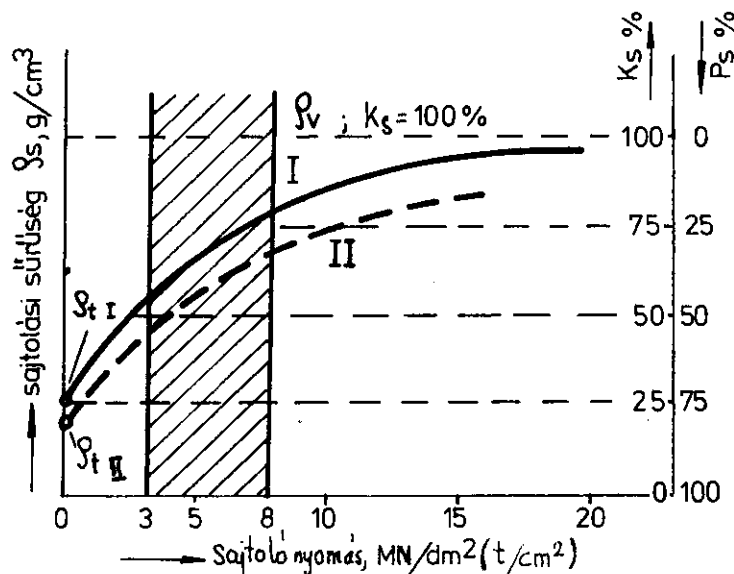


7. ábra. Keményfém béléssel ellátott kétoldalú sajtolószerszám: 1 — felső bélyeg; 2 — mozgó köpeny; 3 — alsó bélyeg; 4 — rugó; 5 — hasított kitológyűrű.

A kétoldalú sajtolásnál (6. és 7. ábra) a szerszámba beadagolt pormennyiséghez viszonyítva mindkét bélyeg egyenlő sebességgel közeledik, biztosítva a sűrűség és a keménység sokkal egyenletesebb eloszlását a préselt munkadarab magasságának különböző pontjain mérve. Itt a maximális sűrűség a darab alsó és felső részén jelenik meg, majd a magasság közepe felé fokozatosan csökken, és a minimális értéket a nyersdarab középső zónájában éri el. Ezzel a sajtolási módszerrel azonban gyakorlatilag elfogadhatóan homogén sűrűséget lehet biztosítani akkor is, ha a nyersdarab h magassága nagy a D átmérőhöz viszonyítva. Itt a h/D viszony értéke maximálisan elérheti a 2–4-es megengedhető arányt is.

A szükséges sajtolási nyomások általában igen nagyok, 3 és 8 tonna per négyzetcentiméter között mozognak, ami tulajdonképpen 3–8 ezer atmoszféra nyomást jelent! Ezért a sajtolószerszámok igen nagy igénybevételeket kell hogy elviseljenek, és a kopásuk elég nagy, még akkor is, ha igen kemény, ötvöztött és gondosan hőkezelt szerszámacélból készülnek és a sajtolásra előkészített porkeverékbe kötelezően sűrűdáscsökkentő adalékot visznek be.

A 8. ábrán két különböző fémpor préselhetőségét megadó sajtolási görbe látható. A sajtolási nyomás növelésével az elért sűrűség egyre nagyobb, és a görbék aszimptotikusan közelednek egy vízszintes szaggatott vonallal megrajzolt egyeneshez, amelyik a tömör fém vagy ötvözet elméleti (100%-os) sűrűségét adja meg, és ahol a sajtolási tömörség (C_p) 100%-os lenne, illetve ahol a sajtolási porozitás (P_p) értéke nulla százalékig csökkenne. Ezt az eredményt a valóságban még óriási nyomások alkalmazásával sem lehet elérni, de tulajdonképpen nincs is rá szükség. Az előbbi ábrán a II-vel jelölt por préselhetősége sokkal rosszabb, mint az I-es poré, tehát ugyanolyan sajtolási nyomással csak kisebb sűrűség érhető el, illetve ugyanazt a préselési sűrűséget csak jóval nagyobb nyomás alkalmazásával lehet megvalósítani.



8. ábra. Sajtoldási diagram két különböző préselhetőségű fémpor sajtolási görbéjével.

A szükséges F sajtolási erő bármely esetben könnyen kiszámítható, ha az ismert sajtolási sűrűség alapján a porkeverék kísérletileg meghatározott sajtolási görbéjéről leolvassuk a szükséges sajtolási nyomást (P_p , t/cm^2 , vagy MN/dm^2), és felhasználjuk az ismert összefüggést:

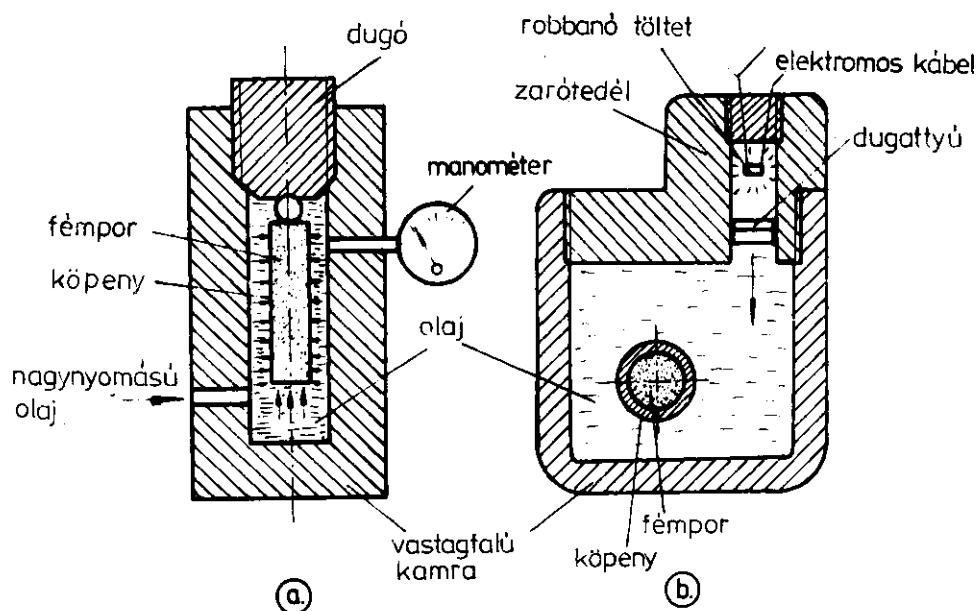
$$F = P_p \cdot S,$$

ahol az erőt tonnákban kapjuk, ha a sajtolt darab préselési iránya merőleges S keresztmetszetét cm^2 -ben és a nyomást t/cm^2 -ben helyettesítjük be a képletbe.

A sajtolt nyersdarabot a présszerszámból az alsó bélyeg emelésével tolják ki. Ennek méretei a szerszámból való kitolás után a belső rugalmassági erők hatására növekednek (visszarugózás). A magassági méretek jobban nőnek ($\sim 0,5\%$), mint az átmérő ($0,15-0,30\%$). Ez a növekedés nagyobb mértékű a kemény fémporokból préselt daraboknál, mint a lágy, képlékeny porokból sajtolt munkadarabok esetében. A sajtolószerszámok tervezésénél természetesen ezeket a méretnövekedéseket pontosan számításba kell venni.

Fémporok izosztatikus sajtolása

Az egyoldalú sajtolásnál a préselt munkadarab tömörségében mutatkozó egyenlőtlenségek igen nagyok. A kétoldalú, legáltalánosabban használt sajtolásnál a tömörség jóval egyenletesebben oszlik el a darab különböző pontjain. Még sokkal egyenletesebb tömörségű munkadarabokat és termékeket lehet gyártani az izosztatikus (hidrosztatikus) sajtolás alkalmazásával, ahol a nyomás minden oldalról egyformán hat. Itt a szükséges fémpormennyiséget egy vékony falú, rugalmas formába adagolják be, és ezt légmentesen lezárják, majd az egészet egy nagyon vastag falú nyomókamrába helyezik (9. ábra). A kamra tökéletes lezárása után egy igen nagy nyomású pumpával a szabad teret folyadékkal töltik fel, és a végnyomást $3-6 MN/dm^2$ -ig növelik ($3-6$ ezer atmoszféra!).



9. ábra. Izosztatikus sajtolás elvi rajza: a — nagynyomású olajjal vagy gázzal; b — olajjal, robbantásos módszerrel.

Így a hatalmas sajtolási erők egyenletesen hatnak minden irányból a Pascal-törvény alapján, ami az igen egyenletes sajtolási sűrűségek létrehozását biztosítja.

Mivel ennél a tömörítési technológiánál a porszemcsék közötti levegő sajtolás közben nem távozhat el, a porral töltött rugalmas formából a levegőt előzőleg ki kell szivattyúzni, és ezt követően a formát tökéletesen le kell zárni.

Az izosztatikus sajtoláshoz szükséges berendezés egészében véve elég komplikált, kényes és igen drága. Mégis egyre terjed ez a sajtolási technológia, mert egy egész sor előny származik az alkalmazásából: nagy és igen egyenletesen eloszló sajtolási sűrűség; a könnyen hozzáférhető anyagokból (gumi, képlékeny műanyagok stb.) készült formák ára igen alacsony, és ezek többször is felhasználhatók; az izosztatikus berendezés univerzális, benne, egy megadott maximális méret alatt, bármilyen termék nyersdarabja előállítható; a darabok mértani alakja igen komplikált is lehet, és méreteik is a porkohászatban szokásos maximális méreteket messze meghaladhatják (a magasság egy méter fölötti is lehet, ami a rendes, matricákban való sajtolással elérhetetlen); a végtermékek mechanikai-fizikai-technológiai tulajdonságai rendkívül jók, és a darab minden pontjában majdnem teljesen homogének. Ennek a sajtolási technológiának is természetesen vannak hátrányai: a termékek forma- és méretpontossága nem a legjobb; a termék felületének finomsága is elég gyenge; az eljárás termelékenysége, összehasonlítva az automata prések igen magas termelékenységevel, kicsi.

A hideg izosztatikus sajtolásnál (CIP) a nyomást átvadó közeg lehet víz, olaj vagy glicerín; a meleg izosztatikus sajtolásnál (HIP) erre a célra magas hőmérsékletű nemesgázokat vagy fémolvadékokat használnak. Ezen utóbbi módszernél a sajtolás és a zsugorítás egyidejűleg megy végbe, és ezáltal más technológiákkal megvalósíthatatlanul nagy tömörséget tud biztosítani, ami erősen megközelíti a 100%-ot. Természetesen itt a légmentesen záró rugalmas formákat nem lehet gumiból készíteni, hanem vékony inox acéllemezből alakítják ki azokat.

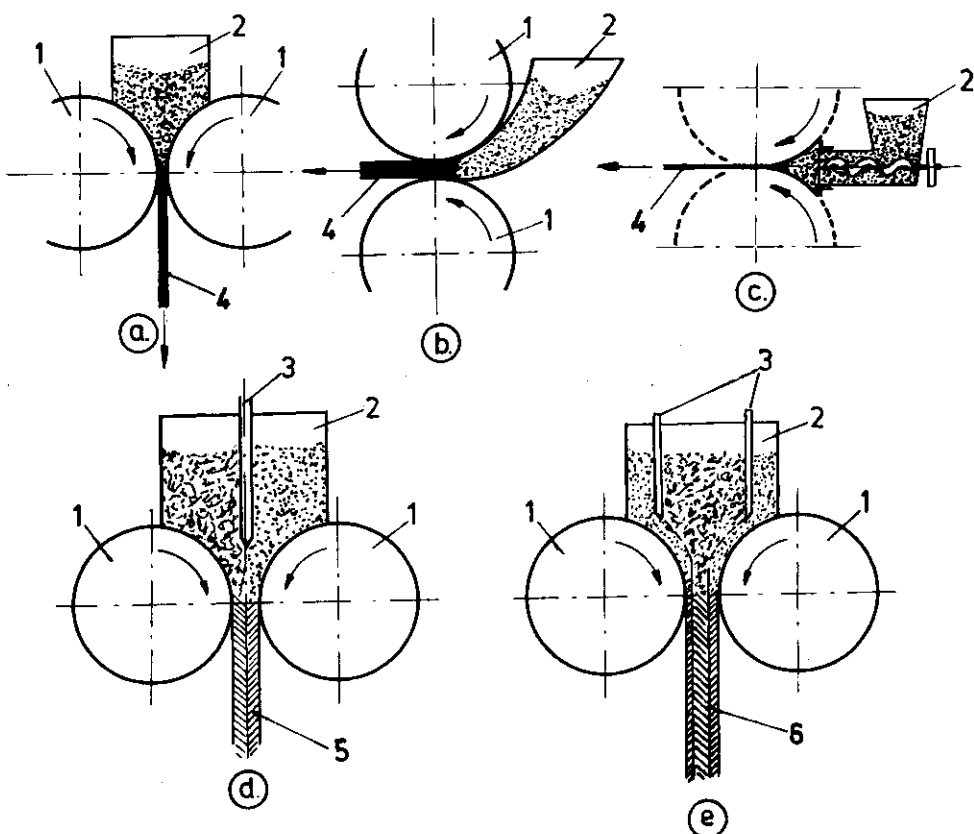
Az izosztatikus porsajtolásnak egy sokkal olcsóbb és egyszerűbb változata a robbantásos módszer (9. ábra, b), ahol a sajtoló nyomás igen gyorsan nő a kívánt maximális értékre.

A hideg izosztatikus sajtolás után a munkadarabokat rendes zsugorításnak kell alávetni, ami a melegsajtolás után nem szükséges.

Izosztatikus sajtolással gyártják napjainkban a legnagyobb méretű, de rendszerint egyszerű alakú porkohászati termékeket, féltermékeket és munkadarabokat (blokkok, rudak, csövek, vastag lemezek stb.). Így gyártják a nagy, molibdénből készülő termékeket is a rakétahajtóművek és más speciális berendezések számára.

Fémporok hengerlése

A fémporok feldolgozásának, vagyis a porkeverék formázásának és a nyersdarabok előállításának érdekes változata a hengerlés. Itt a port két, egymással szembe forgó henger közé adagolják, amelyek a súrlódási erők hatására maguk közé húzzák és egy



10. ábra. A fémporok hengerlésének elve: a — két vízszintes síkban elhelyezett henger között; b — a függőleges síkban elhelyezett hengerek, görbe tölcéses adagolással; c — oldalirányú adagolás csigával; d — bimetall szalag hengerlése kettéválasztott tölcsekrrel; e — háromrétegű szalag hengerlése fémporokból; 1 — hengerek; 2 — adagoló tölcsek és készülékek; 3 — elválasztó lemezek a tölcsekben; 4 — a hengerelt félgyártmány; 5 — bimetall (kettősfém) szalag; 6 — háromrétegű, plattírozott szalag.

folyamatosan kilépő, kis vastagságú féltermékké sajtolják (10. ábra, a, b, c). A hengerelt szalag tömörsége kicsi, és nyers állapotban még igen törekeny. Mivel zsugorítás után is elég nagy a termék porozitása, ha nagy tömörségű végtermékre van szükség, több lépésben újra kell hengerelni. Meleg újrakereséssel teljesen porusmentes szalag vagy lemez is gyártható. A zsugorított, de újra nem hengerelt, nagy porozitású szalag előnyösen használható fel szűrőelemek gyártására.

A porhengerlésnek igen jelentős változata az ikerfém (bimetall) szalagok és többretegű, plattírozott szalagok gyártása. Az adagoló tölcse itt két vagy több részre választó lemezek közé különböző fémporokat töltve (10. ábra, d, e) a sajtoló szalag két- vagy többretegű zsugorított termék előállítását biztosítja.

A hengerelt nyers szalag tulajdonságai a hengerek átmérőjétől és ezek felületi érdességétől, a beállított szalagvastagságtól, a felhasznált porkeverék tulajdonságaitól és különösen ennek folyékonyságától függenek. A porhengerlési sebesség általában nem nagyobb 10–20 m/perc-nél.

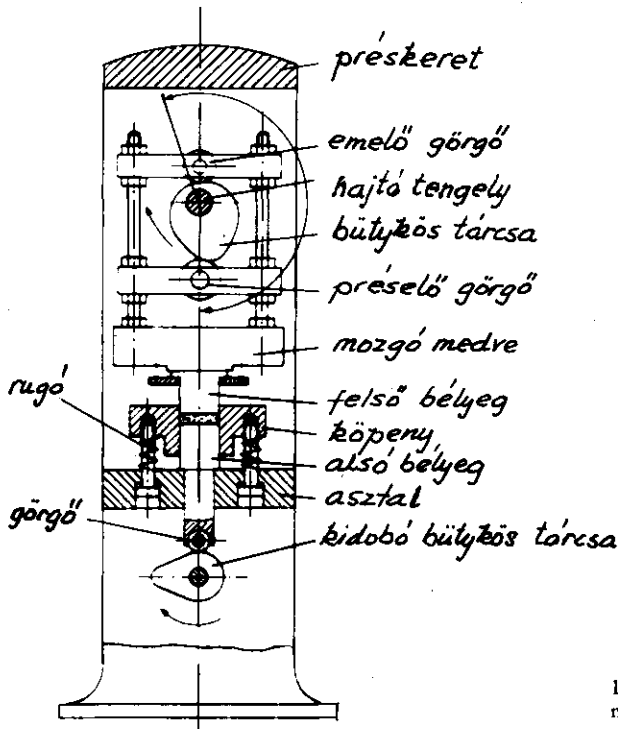
Az eljárás műszaki és gazdasági előnyei: kis vastagságú, megfelelő szélességű és nagy hosszúságú termékek gyártásának lehetősége; nagy tisztaságú és pontosan garantált kémiai összetételű zsugorított termék gyártása; az egyenletes és kívánt finomságú porozitást széles határok között lehet változtatni; a fém felhasználási foka közel 100%-os; a szükséges beruházási költségek nem túl magasak; a technológia folyamatos és könnyen automatizálható.

Néhány példa illusztrálhatja a sokirányú felhasználási lehetőségeit ezen termékeknek: speciális szalagok és lemezek a gépgyártó, elektrotechnikai és elektronikai ipar számára (bimetall szalagok hőmérő és hőszabályozó berendezésekbe, kemence-fűtőelemek, elektronagyú-elemek a TV-képcsövek gyártásához és más elektronsugár-nyalábbal működő berendezésekbe, porózus akkumulátor- és galvánelem-elektrodák), kétoldaltól vékony fémréteggel védett, hengerelt lemezek és szalagok (nikkel vagy réz borítású vas- és acéllemezek), zsugorított önkénő fémréteggel hengerelt acélszalagok sűrűlőcsapágyak nagy sorozatú gyártásához, porózus fémlamezek különböző szűrők, szárítók, párologtatók és lebegőágyas berendezések gyártásához stb.

Porkohászati sajtológépek és szerszámok

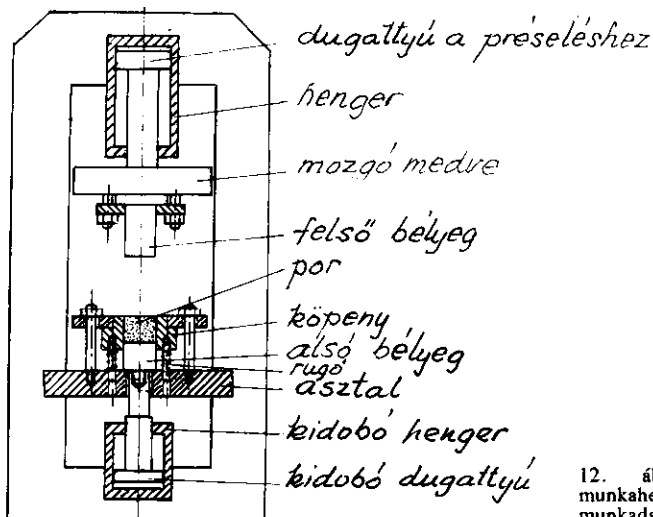
A fémporokból és porkeverékekből előállított zsugorított anyagok és termékek gyártásának egyik legfontosabb fázisa a porok sajtolása a végtermékkel közel azonos formájú és méretű nyersdarabokká. Az alkalmazott nagy teljesítményű mechanikus és hidraulikus prések univerzálisak, vagyis nagyon sok nyersdarab- és termékféleség gyártását teszik lehetővé a sajtoló- vagy kalibrálószerszámok aránylag egyszerű cseréje útján. Ezen szerszámok viszont csak egyetlen típusú termék sorozatgyártását biztosítják. Mivel a sajtolószerszámok ára a nagy pontosság és a drága ötvöztött és gondosan hőkezelt acélok felhasználása miatt igen magas, könnyen érthető, hogy a porkohászat technológiája csak a nagyobb sorozatok gyártásánál válik kifizetődővé (legkevesebb 5–20 ezer darab évenként).

A mechanikus, önműködő porkohászati préseket kisebb méretű darabok nagy vagy igen nagy sorozatú gyártásánál alkalmazzák kiterjedten, mivel ezeknek a préseknek van a legnagyobb termelékenysége [10–30 darabot préselnek percenként, ami 24 órára számolva 14 500–43 000 nyers munkadarabot jelent naponta, vagy egy hónapra mintegy 1 300 000, illetve egy évre (300 napra) majdnem tizennégy milliót jelent négy sajtoló segédmunkás alkalmazásával]. Ezen mechanikus sajtók meghajtása lehet bütykös (11. ábra), körhagyós, könyököstengelyes, csuklórudas vagy ezek bizonyos kombinációján alapuló. Maximális erejük rendszerint nem haladja meg a 2,5 MN-os (250 tonnás) határt.

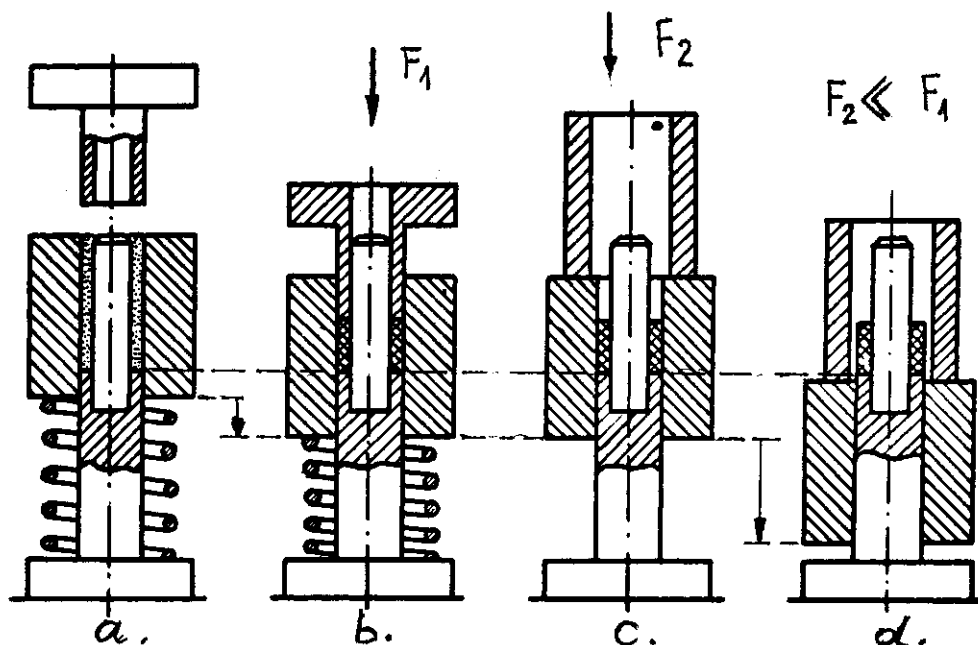


11. ábra. Mechanikus prés büttyös meghajtó mechanizmusokkal.

A hidraulikus préseket viszont általában az igen nagy erők jellemzik, hosszú aktív lökettel rendelkeznek, de termelékenységük jóval kisebb. Ezek a nagy erejű, porkohászati célokra gyártott prések legkevesebb két különálló hidraulikus meghajtó rendszerrel vannak ellátva (12. ábra), külön a porkeverék sajtolásához és külön a nyersdarabnak a szerszámból való kitolásához.



12. ábra. Hidraulikus prés két munkahengerrel (a préseléshez és a sajtoló munkadarab kitolásához).



13. ábra. Üreges munkadarab sajtolása egyszerű, maggal ellátott szerszámban; a — a porkeverék betöltése után; b — a látszólagos kétoldali sajtolás után; c — a rugó eltávolítása és a kitológyűrű felhelyezése után; d — a sajtoló munkadarabnak a köpenyből való kitolása után.

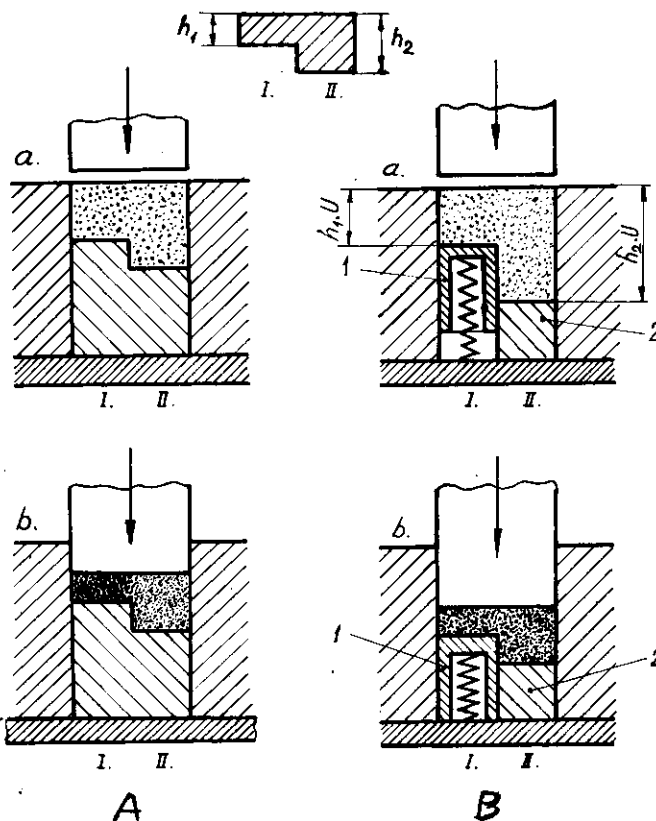
A sajtolószerszám üregének porral való önműködő töltését és az előbb préselt és a szerszámból már kitolt munkadarab félremozdítását automatizáló berendezések elvét a 4. ábra mutatta be.

A sajtolószerszámok méretezésénél a következő elveket kell betartani: az adott nyersdarab préseléséhez szükséges egész pormennyiség pontosan beférjen a szerszámüregbe az adagolásnál; az üreg keresztmetszeti méreteinek kiszámításánál tekintetbe kell venni a sajtoló munkadarab prészserszámból való kitolásánál jelentkező, visszarugózásból adódó méretnövekedéseket, a zsugorítás közben kialakuló kontrakciót és a kalibrálási ráhagyást; az aktív, mozgó szerszámelemek között (matrica, bélyegek, magok) optimális értékű játékokat kell biztosítani, amely lehetővé tegye a szerszám jó működését, a betöltött porszemcsék közti levegő eltávolítását a nagy termelékenységű préseknél adott, igen rövid sajtolási idő alatt és ugyanakkor akadályozza meg a finom por behatolását a matrica, a bélyegek és a magok közti résekbe; az aktív szerszámalkatrészek keménysége nagy legyen a kopások minimálisra csökkentése érdekében; ugyanakkor ezen szerszámalkatrészek anyaga elég szívós is legyen, hogy elkerülhetővé váljon ezeknek a kényes és erősen igénybe vett alkatrészeknek a törése; az aktív felületek minősége a lehető legjobb legyen, hogy a súrlódások a minimumra csökkenjenek és a préselt nyersdarab felületének minősége is minél jobb legyen. Az aktív szerszámalkatrészeket minőségi szerszámacélokból (OSC 8, C 120) vagy zsugorított keménymétekből készítik, hogy a jó kopásállóságot és a nagy mechanikai igénybevétel elviselését biztosítsák.

A belső nyílással, üreggel rendelkező munkadarabok sajtolásához készített prészserszámok elvi működését a 13. ábra mutatja be, függetlenül attól, hogy egy szimpla csapágyperselyt, egy bütykös tárcsát vagy egy ékhoronnyal is ellátott fogaskereket kell gyártani. Ennél az egyszerű megoldásnál kétoldali préselést csak kifele valósítunk meg, mert befelé a sokkal előnytelenebb egyoldali sajtolás marad. Ahhoz, hogy tökéletes kétoldali sajtolás jöjjön létre, a mag együtt kell hogy mozogjon lefele a szerszám

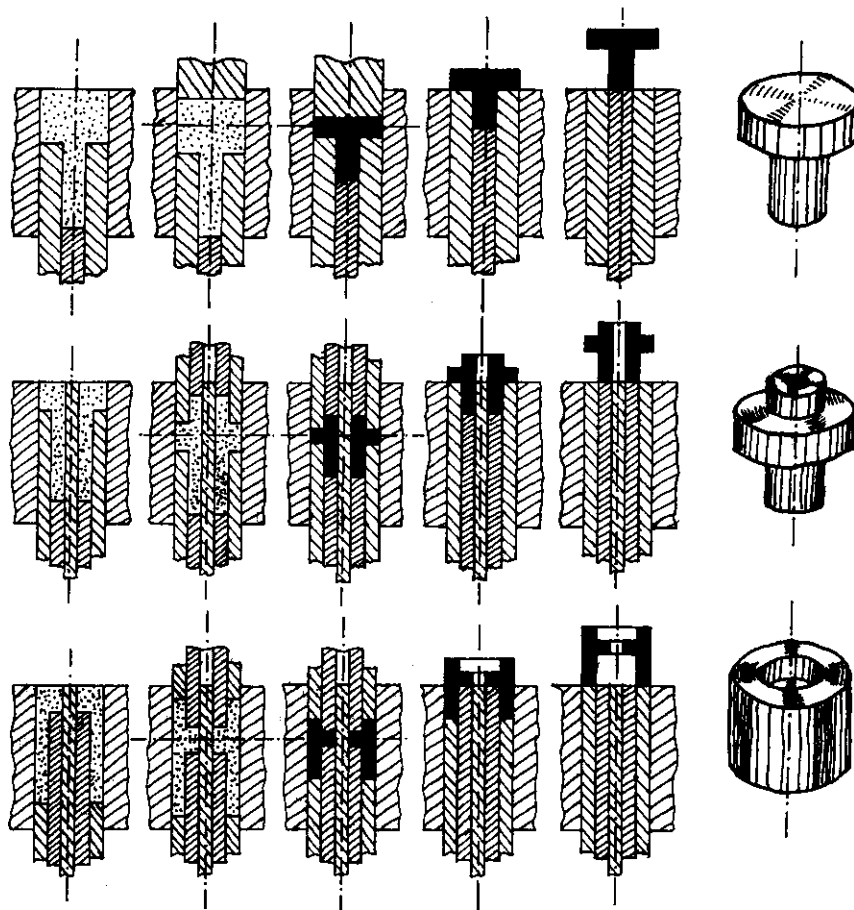
köpenyével, ami meg is van oldva a korszerű ipari sajtokra szerelt ilyen típusú sajtolószerszámok mindegyikénél.

Bonyolódik a helyzet, ha a munkadarab különböző zónáiban jelentős magassági méretkülönbségeket kell megvalósítani. Itt az osztatlan bélyegű szerszám nem tudja az egyenletes sűrűséget biztosítani a darab egész térfogatában (14. ábra, A), és a vastagabb rész nem kap kellő tömörítést, zsugorítás után erősen porózus, morzsálékos lesz. Ugyanazon ábra jobb oldalán (14. ábra, B) vázolt, osztott bélyegű szerszám biztosítja mindkét zónában az U tömörítési aránynak megfelelő $h_1 \cdot U$, illetve $h_2 \cdot U$ töltőmagasságot azzal, hogy töltés alatt az 1. alsó bélyeget egy gyenge rugó a kívánt magasságban tartja. Préselés alatt ez a bélyeg lefele halad, majd megütközik, és a felső bélyeg továbbhaladva létrehozza mindkét zónában a végleges nyomást és az azonos sűrűséget. A 15. ábra három példán szemlélteti a fenti elv gyakorlati megvalósítását.



14. ábra. Jelentős magassági méretkülönbségekkel rendelkező munkadarabok sajtolásának elve: A — osztatlan alsó bélyeggel; B — osztott alsó bélyeggel; 1 — rugóval ellátott, mozgó alsó bélyeg; 2 — mozdulatlan alsó bélyeg; a — a porkeverék betöltése után; b — a sajtolás befejezése után.

A porkohászat számára gyártott korszerű sajtológépek a következőket kell hogy biztosítsák: a por összepréselését a felső bélyeg lenyomásával; a nyersdarab kitolását a sajtolószerszámából az alsó bélyeg emelésével vagy a matricát tartó présasztal süllyesztésével; az osztott bélyegű szerszám valamennyi bélyegének egymástól független



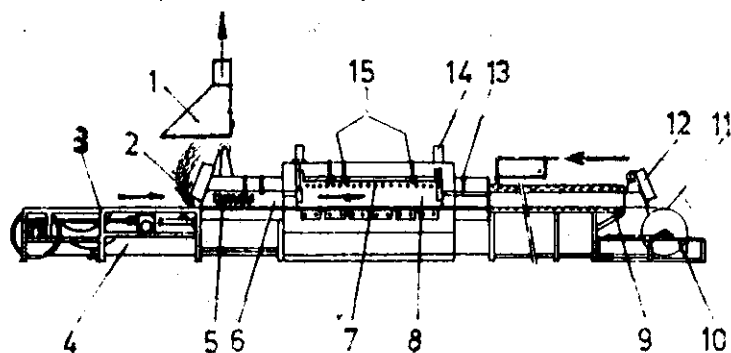
15. ábra. Három példa a jelentős magassági méretkülönbségekkel rendelkező munkadarabok sajtolására osztott alsó bélyegekkel ellátott sajtolószerszámokban.

mozgatását; a sajtolószerszámok porral való pontos töltését és a készre préselt munkadarabok eltávolítását.

Porkohászati zsugorítókemencék

Ahhoz, hogy a fémporokból préselt nyersdarabok a megkívánt fizikai és mechanikai tulajdonságokat megkapják, egy védőgáz-atmoszféra alatt végzett hőkezelésen, úgynevezett zsugorításon (szinterizáláson) kell hogy átmenjenek. A korszerű zsugorítókemencék több követelménynek kell hogy megfeleljenek: az optimális hőmérséklet a kemence minden egyes zónájában szabályozható, időben állandó és szigorúan ellenőrizhető legyen; a melegítési és hűtési sebességek pontosan szabályozhatók legyenek; biztosítani kell a kemence munkaterének védőgázzal való folyamatos ellátását (akkor is, ha például a szalagkemencék alagútsövének két vége állandóan nyitva van); nagy működési biztonság szükséges; nagy legyen a kemence termelékenysége (kg/óra); minél kisebb legyen a fajlagos energiafogyasztás (kWh/kg); egyszerű legyen a kemence

működtetése; a szükséges beruházás ne legyen nagy. A melegítés elve szerint a zsugorítókemencék lehetnek: lángkemencék vagy indukciós kemencék. Működés szempontjából vannak folyamatos üzemű vagy szakaszos üzemű kemencék.

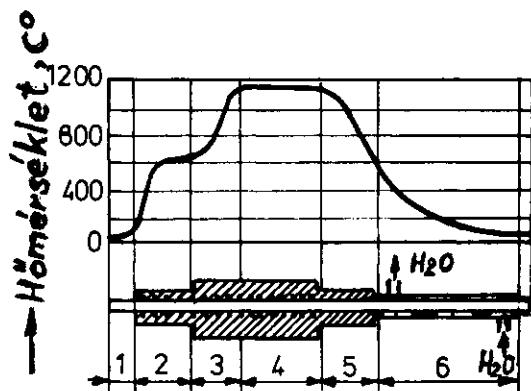


16. ábra. Szállítószalagos áttolókemence két fűtőzónával és egy hűtőzónával: 1 — égéstermékek elszívó rendszere; 2 — lángfüggöny; 3 — berakó platform; 4 — a szállítószalag meghajtó mechanizmusa; 5 — az előmelegítő zóna elektromos fűtőelemei; 6 — előmelegítő és desztarizáló tér; 7 — elektromos fűtőelemek; 8 — a kemence főmunkatere; 9 — hűtőzóna; 10 — szállítószalag-feszítődob; 11 — hőálló szállítószalag; 12 — állítható ajtó a kiszedővégen; 13 — a védőgázkeverék bevezetése; 14 — az állítható közbenső ajtót mozgató mechanizmus; 15 — hőelemek a hőmérsékletmérő és -szabályozó automatikához.

A 16. ábrán egy korszerű, nagy teljesítményű szállítószalagos áttolókemence látható, amelyik termelékenysége igen nagy és a termékek jó minőségét, illetve ennek állandóságát garantáltan tudja biztosítani. Ezen előnyei miatt ezt a kemencetípust a nagy sorozatú tömeggyártásban széles körben alkalmazzák. A hőálló fémszövetből készült szállítószalag állandó és finoman szabályozható sebességgel mozog. A védőgázfelesleg a kemence két végén állíthatóan rögzített, nyitott ajtók alatt távozik, és ott állandóan elégve, biztosítja azt a két lángfüggőnyt, amelyek megakadályozzák mind a levegő beáramlását és ezzel egy robbanó gázkeverék kialakulását, mind a gyakran szén-monoxidot is tartalmazó, mérgező védőgázok kiáramlását. Minden kemence az összes fontos üzemi paraméterét pontosan mérő, kijelző és szabályozó készülékekkel van ellátva, amelyek rendellenes működés vagy robbanásveszély esetén a riasztó fény- és hangjelzéseket is bekapcsolják.

A nagyméretű zsugorítandó munkadarabok esetében *alagút* kemencéket alkalmaznak, amelyekben a rakomány folyamatos és állandó középsebességű előtolását szállító hengerek vagy lépegető mozgást végző emelőgerenda (kemencefenék) biztosítja. Működés szempontjából ezek a kemencék nagyon hasonlítanak az előbbi ábrán bemutatott szalagkemencékhez. Ezen többzónás, folyamatos üzemű zsugorítókemencék hosszában a hőmérséklet-változásokat a 17. ábra szemlélteti.

A nem folyamatos üzemű kemencék közül leggyakrabban a *harangkemencéket* alkalmazzák (18. ábra), különösen a nagyméretű munkadarabok és a nagy átmérőjű, zsugorított súrlódóanyag-réteggel bevont fék-, illetve tengelykapcsolótárcsák gyártásánál. Itt a tárcsakötegre egy megfelelően nagy súlyt is rakva, könnyen megvalósítható az úgynevezett „nyomás alatti zsugorítás” is. Egy teljes berendezés 3–4 tűzálló munkapadozattal, ugyanannyi vékony, tűzálló acéllemezből készített belső záróharangból és egyetlen külső fűtőharangból áll. A tűzálló munkapadozatra helyezett rakományt egy záróharanggal fedik le, amely alatt azután állandóan kering a védőgázkeverék. Az így előkészített egységre helyezik utólag a tulajdonképpeni harangkemencét, amelynek hőmérséklete a szükséges maximális értékre van szabályozva, és egy másik munkapadozatról helyezték át, ahol befejeződött a zsugorítási periódus és kezdődhet a hűtési szakasz, amely elég rövid ideig fog tartani, mert eltávolították a nagy hőtehetetlenséggel rendelkező fűtőharangot. Mivel a három munkapadozaton a teljes

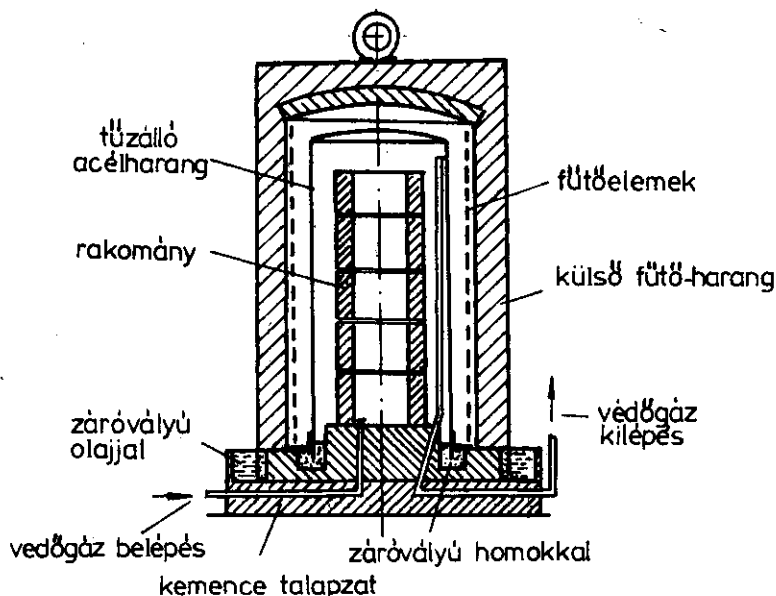


17. ábra. A hőmérséklet változása egy folyamatos üzemű cső- vagy alagút-kemence hosszában: 1 — berakó zóna; 2 — előmelegítő és desztarizáló zóna; 3 — melegítő zóna; 4 — zsugorító zóna; 5 — előhűtő zóna; 6 — hűtőzóna vízköpennyel.

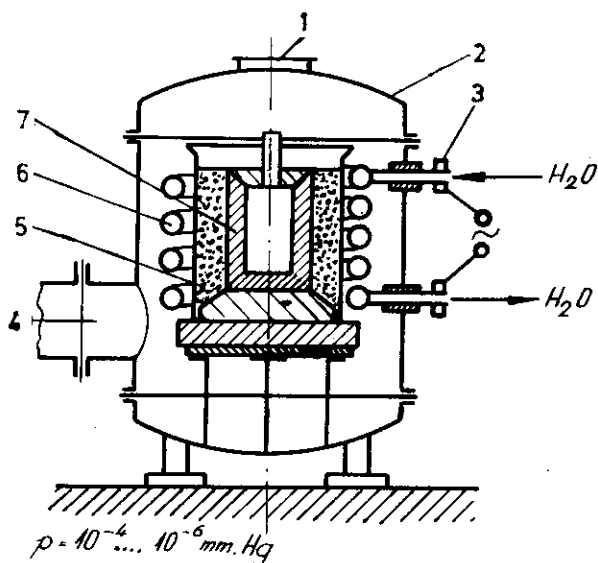
zsugorítási technológia különböző fázisai egy időben valósulnak meg (1 — ürítés-berakás-lezárás-védőgáz-bevezetés; 2 — melegítés és hőn tartás; 3 — hűtés védőgáz-atmoszférában) és egymás után körpermutációban ismétlődnek, a komplex berendezés termelékenysége elég nagy, annak ellenére, hogy szakaszos üzemű kemencetípus alkalmazásáról van szó.

Az indukciós zsugorítókemencék gyors felmelegítést és igen magas hőmérséklet elérését teszik lehetővé (19. ábra). Itt a hőmérséklet változásait és állandó értéken tartását a megadott optimális program szerint nagy pontossággal lehet irányítani és betartani. Az oxidációt megakadályozó védőközeg lehet légüres tér vagy bármely más védőgáz, illetve gázkeverék. A keményfémek zsugorításánál gyakran használják ezt az igen jól bevált kemencetípust.

A grafitcsöves (Tammann-típusú) kemencék elvét a 20. ábra mutatja be. A csövön átvezetett nagy intenzitású elektromos áram direkt fűtéssel igen magas zsugorítási hőmérsékleteket is (3000 °C-ig) könnyen tud biztosítani. A védőközeg itt is vagy légüres tér, vagy védőgáz. A vízszintes elrendezésű fűtőcsővel működő ilyen típusú kemencék a



18. ábra. Zsugorító harangkemence (indirekt fűtéssel).



19. ábra. Indukciós zsugorító vákuumkemence: 1 — ellenőrző és mérőablak; 2 — légmentesen lezárható fedél; 3 — elektromos kapcsoló és hűtővíz-csatlakozó; 4 — csatlakozás a vákuumpumpákhoz; 5 — hőszigetelő réteg; 6 — magasfrekvenciás induktor rézcsőből tekercselve; 7 — hőálló tégely.

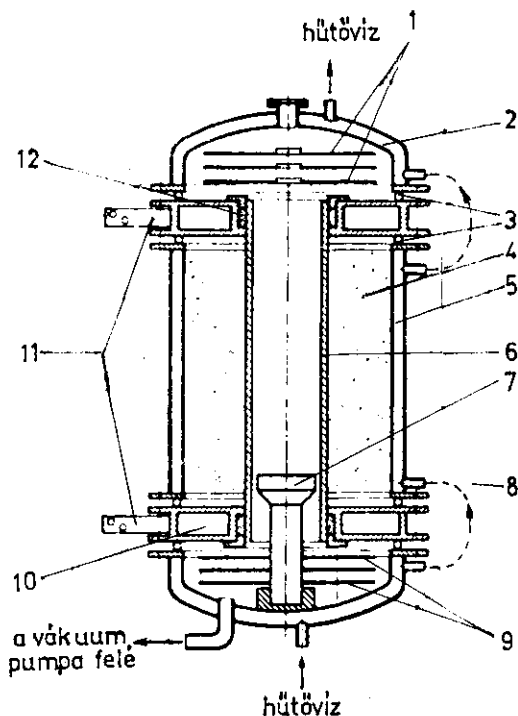
nagy termelékenységgű, folyamatos működési elvet is meg tudják valósítani, a 16. ábrán bemutatott általános technológiai elgondoláshoz hasonlóan.

A legtöbb zsugorítókemencét *védőgázzal* kell folyamatosan táplálni, hogy megakadályozzuk a porózus félkésztermékek felületi és mélységbe is behatoló oxidációját. A védőközegre szükség van a zsugorítást követő lehűtés alatt is, mert az oxidáció veszélye továbbra is fennáll egész addig, amíg a hőmérséklet le nem csökken általában 100–130 °C alá.

A védőközegek lehetnek semlegesek (légüres tér, argon, nitrogén stb.) vagy redukáló hatásúak (hidrogén, disszociált ammónia, részlegesen elégetett metán stb.). Az utóbbiak az oxidáció megakadályozása mellett biztosítják azt is, hogy a porgyártási folyamat hiányosságai vagy a helytelen tárolás miatt részlegesen oxidált fémporokból préselt munkadarabok és félkésztermékek minőségét rontó fémoxid tartalma nullára csökkenjen zsugorítás közben, az oxidok teljes redukciója útján.

A *hidrogén* a legaktívabb redukáló közeg, és a legtisztább alakban állítható elő, például a tiszta víz elektrolízissel történő felbontása útján. Sajnos itt a legnagyobb a *robbanásveszély* is, és emiatt ezt a nagyon jó védőközeget az egészen nagy zsugorítókemencékben nem tanácsos alkalmazni. Mivel a nagy tisztaságú hidrogén ára is elég magas, csak a kényesebb, igényesebb és drágább termékek előállításánál használják. A legtöbb porkohászati termék gyártásához olcsóbb és kevésbé robbanásveszélyes védőgázkeveréket állítanak elő. A tiszta hidrogént a gyakorlatban a W, Mo, a keményfémek, mágneses anyagok, villamos érintkezőanyagok stb. gyártásánál alkalmazzák legtöbbször.

A kiterjedten használt *disszociált ammóniát* nikkeltalízátoron történő hőbontással állítják elő. Erősen redukáló hatású, mert a védőgázkeverék összetétele 75 % H₂ és 25 % N₂. Ugyanakkor ennek a nitrogénnel hígított hidrogénnek a robbanásveszélye jóval kisebb a tiszta hidrogénéhez viszonyítva. Másik nagy előnye ennek a védőgáznak, hogy egy normális, 40 liter űrtartalmú acélpalackban tárolt folyékony ammóniamennyiségből 56

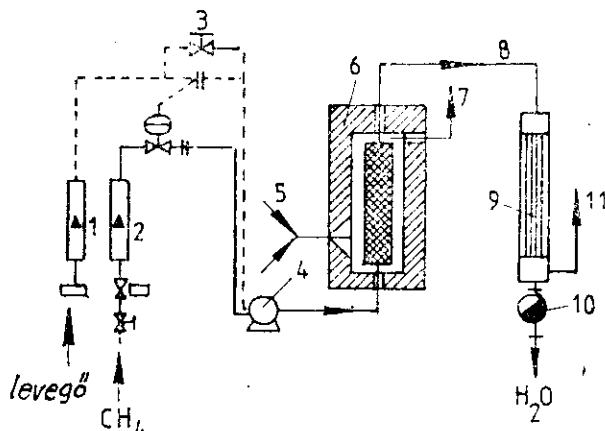


20. ábra. Grafitcsöves zsugorítókemence: 1 — hőszigetelő sugárzó lemezek; 2 — légmentesen lezárható fedél; 3 — tömítő gumigyűrűk; 4 — hőszigetelő réteg; 5 — vízzel hűtött köpeny; 6 — grafitcső; 7 — hőálló alappozat; 8 — összekötő csövek a hűtővíz átvezetéséhez; 9 — hőszigetelő sugárzó lemezek; 10 — vízzel hűtött árambevezető lemez; 11 — elektromos csatlakozók; 12 — grafitdarával töltött tömszelence.

köbliter védőgázt nyerünk, tehát körülbelül tízszer annyit, mint egy ilyen palackban 150 atmoszféra nyomáson tárolható hidrogén esetében. Így tízszer kevesebb palackra van szükség, és a szállítási költségek is egytizedére csökkennek.

A *részlegesen elégetett metán* 10–12-szer olcsóbb, mint a tiszta hidrogén, és csökken a robbanásveszély is. Ezt a gyakran használt védőgázt nikkel katalizátorral töltött, magas hőmérsékleten tartott reaktorokban állítják elő részleges oxidáció útján úgy, hogy az eredeti gázkeveréknél minden köbméter metángázhoz csak 2,5 m³ levegőt adagolnak, a teljes elégetéshez szükséges 10 m³ helyett (21. ábra). A vas- és rézalapú porkohászati termékek tömeggyártásánál ezt a védőgázkeveréket használják a legelterjedtebben, de itt is a levegővel való keveredésből származó robbanókeverék veszélyessége és a szén-monoxid-tartalomból adódó mérgező hatás miatt, ennél a még *endogáznak* is nevezett védőközegnél a szükséges munkavédelmi előírásokat gondosan be kell tartani.

A *légüres tér* (vákuum) mint védőközeg sok szempontból előnyös: az oxidáció ellen tökéletes védelmet nyújt; könnyen kezelhető és nincs robbanásveszély; nem mérgező, tehát nem káros az egészségre; viszonylag könnyen „előállítható”. Azonban a kemence és az egész berendezés tökéletesen légmentesen kell hogy záródjon, ami nem kis technikai problémát jelent. Még egy hátrányt kell megemlíteni, azt, hogy az esetleges oxid-szennyeződések nem távolíthatók el a zsugorítás közben redukció útján, tehát eleve ki kell zárni ezen minőségromtó szennyeződések megjelenésének a lehetőségeit.



21. ábra. Védőgázfejlesztő berendezés a metán részleges elégetésével: 1 — levegőhozam-mérő rotaméter; 2 — metángázhozam-mérő rotaméter; 3 — csap; 4 — nyomószivattyú; 5 — fűtő gázégő; 6 — metánbontó reaktor; 7 — égéstermék a kemencéből a kémény felé; 8 — védőgáz csővezeték; 9 — nedvességekondenzáló hűtő; 10 — kondenzvíz a lefolyó felé; 11 — védőgázelosztó csőhálózat a zsugorítókemencék felé.

Önkenő csapágyak fémporokból

A porkohászat egyik fő előnye, hogy lehetővé tette a porózus (nem tömör) fémek és fémötvözetek gyártását. A gyártástechnológia megfelelő szabályozásával a terméket az előírt mértékben (térfogatának akár 50–60 százalékáig) pórusosra készíthetjük, és a teljesen egyenletesen elosztott, igen finom pórusok mérete, kívánság szerint, széles határok között változtatható. Ezek az erősen porózus fémalkatrészek folyadékok és gázok által átjárhatók (szűrőgyártás), illetve pórusaik olajjal vagy kenőzsírral telíthetők (csapágyperselyek gyártása).

Az önkenő csapágyakat fémporokból gyártják sajtolás, zsugorítás és kalibrálás útján, egyenesen a kívánt alakra és méretre, s így minden forgácsolási vagy egyéb megmunkálás nélkül a csapágyházba közvetlenül beépíthetők. A csapágyperselyek térfogatának 18–30%-át pórusok alkotják, és mivel ezek több mint 90 százaléka a felület felé nyitott, olajjal vagy más kenőanyaggal telíthetők.

A csapágy működése közben a pórusokban felhalmozott kenőanyag egy része a siklófelületek közé jut, és ott a szükséges kenést biztosítja. Így az *önkenő csapágy* minden utólagos olajozás, kenés nélkül több ezer üzemóra (általában több évre) elegendő saját olajozást biztosít.

Az önkenő csapágyak más előnyös tulajdonságokkal is rendelkeznek: igen kicsi a súrlódási tényezőjük, kopásállók, berágódásra nem hajlamosak, minimális az olajfogyasztásuk, nincs olajcsepegés, üzemük zajtalan, olcsók és könnyen gyárthatók igen nagy sorozatban is. Nagy terheléseknél és kerületi sebességeknél azonban ezeknél a csapágyaknál is állandó kenésről kell gondoskodni.

A fontosabb felhasználási területeik közül megemlítenünk a gépkocsik, repülőgépek, szerszámgépek és mezőgazdasági gépek kis terhelésű csapágyait, a textilgépek, élelmiszeripari gépek, kismotorok, háztartási és irodagépek, finommechanikai készülékek és gépek csapágyait, valamint a magnetofonok, kazetefonok, lemezjátszók, mosógépek, hajszárítók, villanyborotvák és más, mindenki által használt eszközök csapágyait.

Porkohászati technológiával készülő porózus csapágyperselyekre az első utalás 1908-ból, Löwendahltól származik. Szélesebb körben való felhasználásuk azonban csak 1920

után kezdődött. Először a porózus bronz önkendő csapágyperselyek gyártását kezdték el az Egyesült Államokban, majd a harmincas évek elején néhány európai országban is. 1937-ben a világon naponta már mintegy egymillió darab porózus bronz önkendő csapágyperselyt gyártottak. A második világháború alatt Németországban fejlesztették ki a vasalapú önkendő csapágyakat, amelyek gyártása később elterjedt az európai ipari országokban, majd Amerikában is megindult.

Napjainkban a zsugorított önkendő csapágyak gyártása igen jelentősen kibővült világviszonylatban, és évről évre tovább növekszik. Romániában a kolozsvár-napocai Sinterom gyárban készülnek nagy sorozatban a porózus bronz- és vasalapú önkendő csapágyperselyek, különböző méretben és formában, az ipar legkülönbözőbb ágai igényeinek kielégítésére.

Porózus fémszűrők és elektródák

A porkohászati technológia egyik fő előnye, hogy lehetővé teszi a finom és egyenletes elosztású porozítással rendelkező fémek anyagok gyártását. A pórusok közepes méretei és a porozitás százalékos értéke kényelmesen befolyásolható és széles határok között, a kívánalmak szerint pontosan beállítható a kiinduló porok finomságával, a porszemcsék alakjának optimalizálásával és a préselési, illetve zsugorítási technológia megfelelő változtatásával. A nagy porozitású zsugorított fémeket (25—50%-os porozítással) a korszerű technika különböző fontos problémák megoldására használja fel: porózus fémszűrők folyadékok és gázok szűrésére, nagy porozitású lemezek a lebegőágy-technológiák ipari megvalósításához és a sűrített levegővel működő pneumatikus szállítóvályúk gyártásához, lángvédő és robbanásgátló porózus lemezek a lánghegesztő és lángvágó berendezések számára, gázok különböző folyadékokban történő egyenletes elosztását finom buborékok formájában biztosító porózus lemezek és membránok gyártása stb.

A porózus fémszűrők nagyon változatos típusai igen széles körben terjedtek el a gépgyártásban, a vegyiparban, az ércelőkészítésnél a kohászat számára, a víztisztító berendezésekben stb. A szűrőgyártásban régebben használt papír-, textil- vagy kerámiaalapú anyagokhoz viszonyítva a porózus fémek számos előnnyel rendelkeznek: nem törékenyek, és jók a mechanikai tulajdonságaik; magasabb hőmérsékleten is jól működnek; ha megfelelő fémekből és ötvözetekből készülnek, jó korrózióállóságot is lehet biztosítani; könnyen és sokszor tisztíthatók a folyadékok vagy gázok ellenkező irányú átáramoltatásával; az előírt szűrési finomság könnyen garantálható a porozitás finomságának beállításával; a szükséges, aránylag kis falvastagság lehetővé teszi a kis nyomásvesztéssel dolgozó szűrők gyártását; a szűrőelemek aktív felülete könnyen növelhető, ami kisméretű szűrőkhöz vezet adott szűrési hozamoknál; a fémszűrők előállítási ára aránylag alacsony. A porózus fémszűrőelemeket gyakran készítik lehetőleg gömb alakú szemcsékből álló bronzporokból, illetve rozsdamentes (inox) acélporokból. Különleges célokra gyártanak szűrőket monel, nikkel, volfrám, molibdén és más fémporokból is. Újabban gyártanak fémszűrőket szabálytalan alakú szemcsékből álló porokból is, ahol nő a mechanikai szilárdság és csökken a szűrőelem ára, de a tulajdonképpeni szűrési tulajdonságok kedvezőtlen irányban változnak meg. Fémporok helyett nagyon finom fémszálakból álló alapanyagokból tömörítve és zsugorítva a szűrőelemeket, a porozitás 70% fölé is növelhető, de itt a mechanikai tulajdonságok természetesen igen alacsony értékűek, és a porozitás egyenletességi foka is romlik.

A fémszűrők előállításánál nem alkalmazzák az acélszerszámokban történő sajtolást, mert a porozitás így igen kicsi lenne és a szűrő nem engedné át elég jól a szűrendő gázt vagy folyadékot. Szűrőelemek gyárthatók nagy sorozatban és előnyösen más tömörítési technológiákat alkalmazva: a fémpor betöltése vagy berázása fém- vagy kerámiaformákba és ezekkel együtt történő berakása a zsugorítókemencékbe; nagy porozitású lemezek

hengerlése és zsugorítása fémporokból; a porok beszórása és egyenletesen vastag rétegben való elterítése tapadásgátló festékréteggel bevont sima fémlemezekre, ezek egymásra rakása és zsugorítása, majd az így előállított nagy porozitású lemezek leválasztása az újrafelhasználható alaplemezekről. Az első technológia útján kész szűrőlemezeket nyerünk a kívánt végső alakkal és méretekkel. A másik két technológiai variáns útján gyártott lemezekből kivágással (stancolással), domborítással, hajlítással és néha az ezeket követő hegesztéssel állítják elő a megfelelő alakú és méretű szűrőlemezeket.

A porózus elektródákat rendszerint a szűrőlemezek gyártásánál használt eljárásokkal állítják elő. A lemezek vastagsága egy milliméter körül mozog, és a felhasznált fémporok anyaga az elektrolit kémiai összetételével kell hogy összhangban legyen. A leggyakrabban erre a célra az ólom-, nikkel-, kadmium- és ezüstporokat használják, és a porszemcsék méretei 2—10 mikron között változnak. Az igen nagy aktív felületet biztosító magas porozitás pontosan a kívánt értékre állítható be, és gyakran meghaladja még a 70—85 százalékos értéket is.

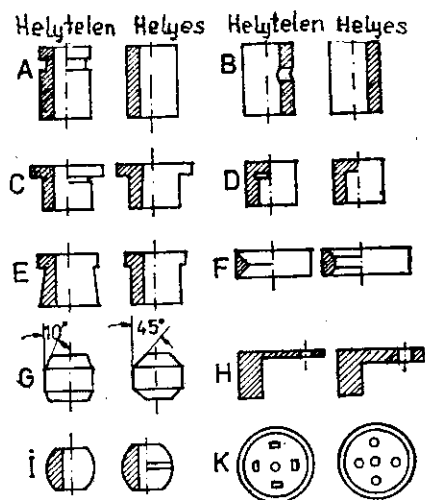
A porózus fémelektródákat egyre szélesebb körben használják fel a korszerű elektromos akkumulátorok és elemek gyártásánál és a különböző speciális laboratóriumi berendezések összeállításánál.

Porkohászati úton előállított gépalkatrészek

A korszerű gépgyártóipar egyre több és változatosabb porkohászati úton, nagy sorozatban gyártott gépalkatrészt használ fel a különböző gépek, berendezések, mérőműszerek és tartós fogyasztási cikkek előállításához. Mivel itt a mechanikai szilárdság és a kopásállóság igen fontos követelmény, a fémporok feldolgozásánál a gyártási paramétereket úgy kell megválasztani, hogy a porozitás minimális értékre csökkenjen, mire eljutnak a végtermékhez. Az alkalmazott gyártási technológiáknak feltétlenül biztosítaniuk kell a zsugorított termékek alak- és méretpontosságát, a felületek jó minőségét és az optimális mechanikai tulajdonságokat. Ezen célok elérésére több lehetőséget lehet kihasználni: csak nagyon jó minőségű fémporok felhasználása; a préselés és zsugorítás paramétereinek optimalizálása; a kettős préselés technológiájának az alkalmazása (préselés, előzsugorítás, újrapréselés, végleges zsugorítás); kalibrálás; a porozitás olvadt fémmel történő kitöltése (átítatás); ötvözással történő minőségjavítás; hőkezelések alkalmazása; újabban a zsugorító kovácsolás elterjesztése stb. Különösen széles körben alkalmazzák a vasalapú zsugorított anyagokból gyártott gépalkatrészeket a modern gépgyártás minden területén.

A porkohászati úton előállított alkatrészeket legnagyobb mértékben az autóiparban (több mint 50 százalékos részesedéssel az össztermelésből), az elektromos háztartási gépek gyártásánál (20% fölötti részesedéssel) és az irodagépgyártásban (10% körüli aránnyal) használják fel. Az ezen célokra készült alkatrészek gyártása különösen előnyös és kifizetődő, ha azok méretei nem túl nagyok (a tömegük rendszerint jóval egy kilogramm alatt van és csak kivételes esetekben haladja meg a két kilogrammot) és az évente szükséges darabszám minél nagyobb (százazres és milliós sorozatok gyártása). A tipikus, leggyakrabban alkalmazott alkatrészek közül megemlítendők a különböző perselyek, csapágycsukák, körhagyók, büttyök, emelő, karok, fogazottíves karok, hengeres és kúpos fogaskerekek, lánckerekek, turbinalapátok, dugattyúk, dugattyúgyűrűk motorokba és kompresszorokba, pólussaruk elektromos gépekbe, mérőműszerekbe stb.

Nagy előnye a zsugorított (kicsit humorosan mondva „frissen sült”) gépalkatrészeknek, hogy zsugorítás vagy kalibrálás után közvetlenül beszerelhetők a gyártott termékbe, gépbe, tehát nincsen szükség semmilyen drága forgácsoló megmunkálásra. Esetleg a préselési irányra keresztirányú furatokat kell utólag elkészíteni fúrással, köszörüléssel. A porkohászati gépalkatrészek tervezésénél viszont figyelembe kell venni,



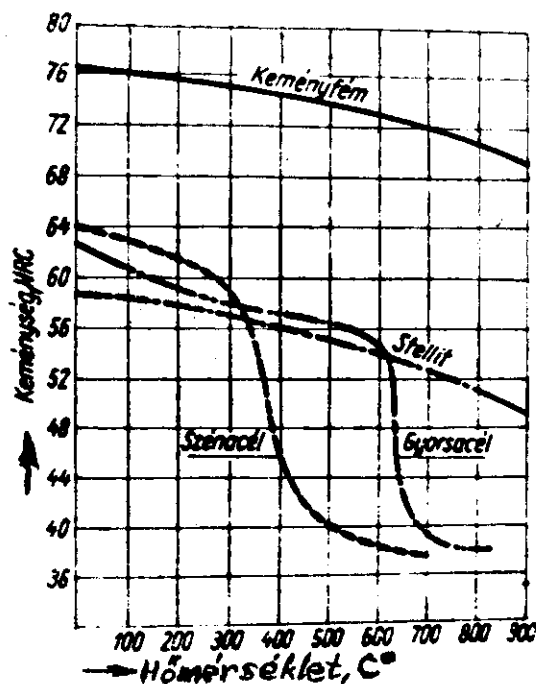
22. ábra. Példák a fémporokból gyártott gépalkatrészek helyes formatervezéséhez.

hogy a mechanikai tulajdonságok néhány százalékkal gyengébbek a teljesen tömör anyagból, klasszikus technológiák útján gyártott gépalkatrészek tulajdonságainál, mivel itt a végső porozitást csak nagyon nehezen lehet teljesen nullára csökkenteni és rendszerint marad 1–5% porozitás. Természetesen az önkendő csapágycsapágyak gyártását úgy kell irányítani, hogy a végtermék porozitása 20–30% körül maradjon, és ezáltal kellő mennyiségű olajat tudjon magába szívni a befejező átitatásnál, ami hosszú időre tudja majd biztosítani a csúszócsapágy minden külső olajozástól független automatikus kenését.

Még meg kell jegyezni, hogy a fémporokból gyártott gépalkatrészeknél a formatervezés közben figyelembe kell venni néhány gyártástechnológiai követelményt a geometriai formák végső kialakításánál, amire néhány jellemző példát a 22. ábra szemléltet.

Zsugorított keményfémek

Ezek az igen kemény anyagok volfrám- és titánkarbidporból és a keverékhez kötőanyagként adagolt 3–15% kobaltporból készülnek keverés, préselés, előzsugorítás, esetleges forgácsoló megmunkálás és végső zsugorítás útján. Az említett rendkívül nagy keménységen kívül, amely vetekszik a világon legkeményebb anyagként ismert gyémánt keménységével, nagyon nagy a kopásállóságuk, és ezt a két, igen hasznos tulajdonságukat megtartják, ha kell, hosszú időn keresztül is, nagyon magas hőmérsékleteken, egészen 1000 °C-ig. Mivel a porkohászati keményfémek ára jóval a gyémánt ára alatt van, kiterjedten használják ezeket az anyagokat: a forgácsolószerszámok aktív részeinek elkészítésére (keményfémlepkák felforrasztásával), az olaj- és bányaiipari fúrófejek gyártására, a présszerszámoknak és a súllyesztékben kovácsolás szerszámainak bélelésére, a nagy termelékenységű kivágó szerszámok aktív darabjainak elkészítésére, a drót- és rúd húzókövek, valamint a homokfúvó fúvókák (dúznik) gyártására, a mérlegeknél és mérőszerszámoknál, mérőeszközöknél az erős kopási igénybevételnek kitett alkatrészek elkészítésére és még sok más alkatrész és szerszám gyártására. Mivel igen magas hőmérsékleteken is megőrzi keménységüket és kiváló forgácsolóképességüket (23. ábra),

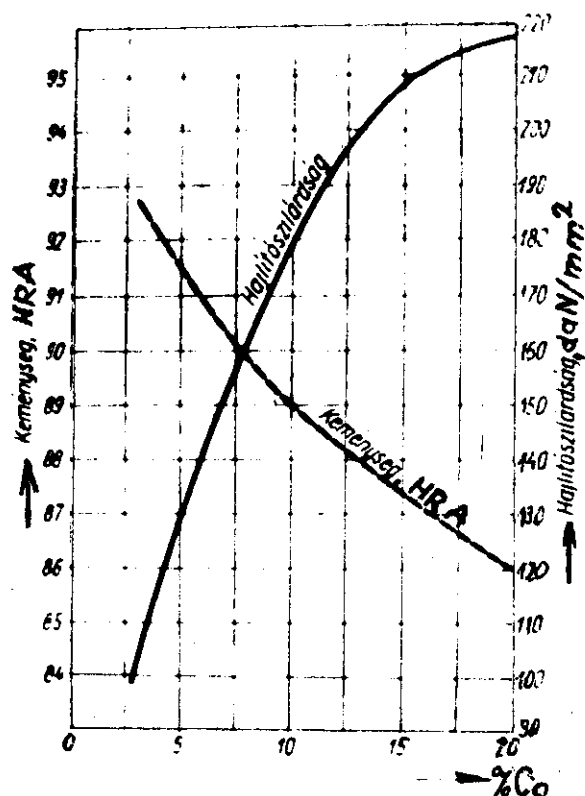


23. ábra. Forgácsolószerszámok különböző anyagainak keménységváltozása a hőmérséklet függvényében.

a keményfémlapokkal erősített forgácsolószerszámok messze felülmúlják a szénacélokból, rapidacélokból és sztellitekből készített szerszámokat, és rendkívül nagy forgácsolási sebességeket bírnak ki, ami a forgácsoló megmunkálásnál a termelékenység nagyon jelentős növelését tette lehetővé, valósággal forradalmasítva a gépgyártásban a forgácsoló megmunkálást. Ugyanakkor megmunkálhatóvá vált sok igen kemény anyag is, amelyeket azelőtt nem tudtak esztergálni, marni, fújni, csak köszörülni (kemény edzett acélok, keramikus anyagok, porcelán, üveg stb.).

A kobalttartalom növelésével csökken a keménység és a kopásállóság, de nő a hajlítószilárdság és a szívósság (24. ábra.), amely tulajdonságok nagyon fontosak a sajtolószerszámok és az ütőszerszámok bélelésére és erősítésére használt darabok elkészítésénél.

A keményfémek gyártástechnológiája a szükséges porok előállításával kezdődik. A finom szemcsésű volfrám-trioxidport hidrogénatmoszférában redukálják, majd az így kapott finom W-porot grafitporral megfelelő arányban összekeverve, elektromos áttolókemencékben volfrámkarbiddá szintetizálják; a titán-oxidport grafitporral redukálják, majd a volfrámhoz hasonlóan titán-karbidport gyártanak; a kobaltport a kobalt-oxidpor hidrogénnel történő redukciója útján nyerik. Mindezeknél, természetesen, közbeeső őrölő, osztályozó (szitáló) és keverő (homogenizáló) megmunkálásokra is szükség van. A 10 μm -nél finomabb szemcseméretű porokat a termék felhasználási területének függvényében, meghatározott recept alapján adagolják, és intenzív nedves homogenizálásnak vetik alá golyósmalmokban, sokszor több száz órán keresztül. A végén a nagyon finom szemcsésű keveréket granulálják (mikropeletizálják) plasztifikáló anyagok hozzáadásával (gumioldat, paraffin, kámfor stb.), hogy ezáltal megnöveljék a por folyékonyságát és megkönnyítsék a sajtolószerszámokba való betöltését az automata préseken.



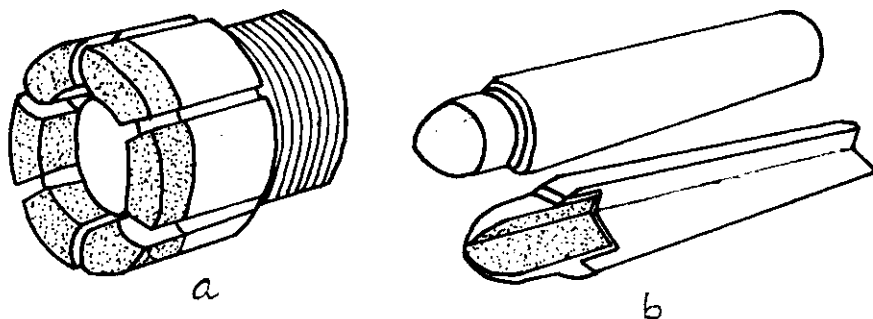
24. ábra. A kobalttartalom hatása a zsugorított volfrám-karbid alapú keménységű fémek legfontosabb tulajdonságaira.

A szükséges sajtolási nyomás aránylag kicsi, 1–22 kN/cm² (0,1–2,2 tonna/cm²). A préselt munkadarabokat előzsugorítják hidrogén- vagy disszociált ammónia-védőgázban 750–1100 C°-on, és ha szükséges, forgácsoló megmunkálással még helyesbítik a geometriai alakját és méreteit a leendő készterméknek (fűrészeléssel darabolják, marják, esztergálják, köszörülik stb. az eredeti sajtoló darabokat), természetesen tekintetbe véve a végzsugorításnál még jelentkező méretváltozásokat. Ennél a rendszerint vákuumkemencékben 1350–1550 C°-on végzett zsugorításnál szokatlanul nagy, 20–28 százalékos méretcsökkenések lépnek fel.

Néha grafitprésszerszámokban 1350–1600 C°-on végzett *melegpréselést* is alkalmaznak 1–30 perces időtartammal, ami után igen nagy keménységet és nagyon jó kopásállóságot lehet elérni. Ezt a komplikáltabb és drágább préselési-zsugorítási technológiát elég ritkán használják, legtöbbször csak a dróthúzókövek, malomgolyók, automata esztergapad-vezetőperselyek és a nagyon koptató hatású anyagok extrudálásánál használt szerszámok gyártására.

Fémkötéses gyémántszerszámok

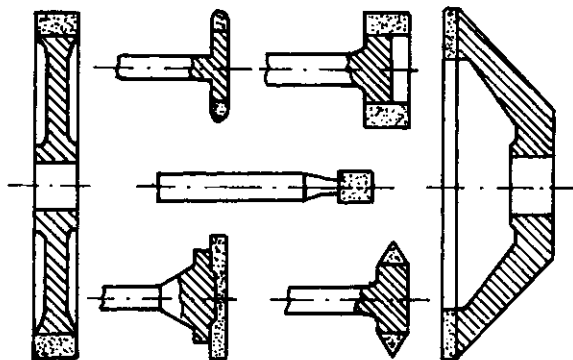
Köztudott, hogy minden ismert anyag közül a gyémátnak van a legnagyobb keménysége, de ugyanakkor a legrágább is, függetlenül attól, hogy természetes vagy



25. ábra. Fémkötéses gyémántszerszámok: a — fúrófej zsugorított szegmensekkel; b — köszörűkő-lehúzó szerszám.

mesterséges gyémántról van szó. A könnyebb megmunkálási feltételek között dolgozó gyémántszerszámok gyártásánál a megfelelő finomságú gyémántszemcséket szerves kötőanyagokba, műgyantákba, keménygumiba vagy más hasonló anyagba ágyazzák. Ha kötőanyagként fémeket, ötvözeteket vagy zsugorított keményfémeket alkalmazunk, a gyémántszerszámok a legnehezebb körülmények között is rendkívül jól megállják a helyüket, például a nagyon kemény kőzetekben végzett mélyfúrásoknál, a márvány és más kőanyagok vágásánál, a keramikus anyagok és termékek megmunkálásánál, az igen kemény anyagok köszörülésénél és csiszolásánál, valamint a nagyon kemény acélok, fémötvözetek és a zsugorított keményfémek megmunkálásánál.

A fémkötéses gyémántszerszámok gyártásánál a minél jobb tulajdonságok eléréséhez olyan kötőanyagokat kell használni az éles gyémántszemcsék beágyazásához, amelyek kielégítik a következő, nagyon igényes követelményeket: elég nagy legyen a kopásállóságuk; ne engedjék meg a gyémántszemcsék kitépését, kisodrását, mielőtt ezek teljesen el nem veszítették kopás útján a forgácsolóképeességüket; ne szennyezzék a megmunkálási felületeket; a hőterjedési együtthatójuk egyenlő vagy minél közelebbi értékű legyen a gyémánthoz viszonyítva. Erre a célra a gyakorlatban felhasználhatók a réz-, vas-, volfrám- vagy molibdénalapú zsugorított fémötvözetek, de a legjobb



26. ábra. Különböző speciális köszörűkövek zsugorított fémkötéses gyémántréteggel.

eredményeket akkor érhetjük el, ha kötőanyagként zsugorított volfrámkarbid és titánkarbid alapú, kobalt- vagy nikkelkötésű keményfémeket alkalmazunk. Példaként említhető a köszörű- és csiszolókövek egy családja, ahol a 75% volfrám-karbid- és 25% nikkelpor összetételű zsugorított keményfémbe előzőleg még 5–20 százalék 10–60 mikrométer finomságú gyémántport adagolnak. A gondosan elkevert poradag préselése után, ahol nem túl nagy nyomásokat alkalmaznak, hogy az aránylag törekeny gyémántszemcsék ne aprózódjanak el, 1400–1550 C°-on végzett zsugorítás következik, vagy a keményfémek gyártásánál említett melegpréselést alkalmazzák grafit sajtolószerszámokban 1200 C° körüli hőmérsékleten, igen rövid, egy perc alatti hőn tartási idővel, 0,01 tonna/cm²-es nyomás alatt.

Az olajipari mélyfúrásoknál egyre kiterjedtebben alkalmazott nagyobb átmérőjű fúrófejeknél több milliméteres nagyságú gyémántdarabkákat ültetnek be a szerszám munkafelületébe, egy nagyon érdekes technológiát alkalmazva. A „hatalmas” gyémántszemcséket kézzel rakják be egy grafit-présszerszám kis felületi bemélyedéseibe, majd erre adagolják és préselik rá a volfrám-karbid alapú keményfém porkeveréket. Egy 1100–1200 C°-on hidrogén-védőgázban végrehajtott zsugorítás után a majdnem kész fúrófejet még egy megolvasztott rézzel vagy rézötvtözzel végzett átitatásnak vetik alá, hogy a porozitást teljesen kitöltsék és így a mechanikai szilárdságot a maximumra növeljék. Nálunk ilyen, egészen korszerű fúrófejeket gyártanak a fővárosi DIAROM gyárban. Néhány porkohászati úton gyártott gyémántszerszámot a 25. és 26. ábra mutat be.

Súrlódó anyagok fémporokból

A korszerű, nagy kapacitású, de minimális térfogatú (méretű) fékekbe és tengelykapcsolókba szerelt, zsugorított súrlódó anyaggal bevont tárcsák és lemezek alkalmazása több jelentős előnyt biztosít: nagy az effektív súrlódási koefficiens, és ennek értéke majdnem változatlanul megmarad a maximális terhelés pillanataiban fellépő igen magas hőmérsékleteknél is; jó a hővezető (itt nagyon szükséges hőelvezető) képesség; nagy a kopásállóság; kicsi a hőkiterjedési együttható, és minden károsodás nélkül rendkívül magas hőmérsékleteket bírnak ki (600–800 C° körül is). Mindezek hozzájárulnak ahhoz, hogy a korszerű, zsugorított súrlódó anyagokkal messze túlhaladhatók a más típusú anyagokkal elérhető legjobb eredmények.

Ezek a vasalapú, réz- vagy bronzalapú komplex anyagok 20–35% nemfémes adalékanyagokat tartalmaznak (grafit, szilícium-dioxid, alumínium-oxid, szilíciumkarbid, azbeszt stb.). A réz növeli a hővezető képességet, és megkönnyíti a súrlódó réteg hozzáhegedését zsugorítás közben az acél alaplemezhez; a mindenkori olompor- és grafitadalék növeli a súrlódó felületek bejáratás alatti és azutáni alkalmazkodóképességét és a kopásállóságát, csökkenti a berágódási hajlamot, és egyidejűleg lehetővé teszi a sima, lökésmentes fékezéseket, illetve bekapcsolásokat, indításokat; a szilícium-dioxid, alumínium-oxid, a szilíciumkarbid és/vagy az azbeszt mint töltőanyagok növelik az annyira fontos súrlódási együttható értékét és a kopásállóságot. A zsugorítás utáni porozitás értéke 12 és 20% között mozog, és a száraz (olajmentes) súrlódásnál a súrlódási együttható 0,15–0,50 között van (tehát szokatlanul nagy!).

A zsugorított súrlódó réteget vagy rétegeket (egy vagy két oldalról felszinterizálva) az előzőleg vörösrézzel elektrolitikusan bevont, stancolással kivágott acél alaplemezre három módszerrel szokás felvinni: 1. a porkeverékből préselt vékony lemezeket, gyűrűket vagy körszegmenseket ragasztószalaggal rögzítik ideiglenesen az acél alaplemezre mindkét oldalról, majd az összeszinterizálódást megakadályozó festékréteggel egy oldalról bevont tárcsákat vagy szegmenseket egymásra rakva, a kapott máglyát (rakást) harangkemencékben, nyomás alatt (100–140 N/cm²) zsugorítják; 2. a porkeveréket a megfelelő rétegvastagságban rászórják az előkészített alaplemezre, majd átviszik, a zsugorítókemence

szalagjára helyezve, a kemencén, és végül préseléssel vagy dinamikus kalibrálással (ütéssel) tömörítik az eredetileg még porózus sűrűlódó réteget; 3. a sajtolószerszámba helyezett alapelemre rászorják a megfelelő mennyiségű porkeveréket, ezt elegyengetik és rápréselik, majd zsugorítással és kalibráló préseléssel készre munkálják a sűrűlódó tárcsát. A zsugorított sűrűlódó réteg vastagsága 0,25 és 2 mm között van az elektromágneses tengelykapcsolókba és a repülőgépfékekbe készült tárcsákon, és 2–8 mm között változik az autókba, traktorokba szánt tárcsáknál, szegmenseknél, fékpofáknál.

Villamos érintkezőanyagok és áramszedő kefék fémporokból

A modern elektrotechnikában széles körben használt villamos érintkezők legnagyobb részét porkohászati technológiával gyártják milliós nagyságrendű sorozatokban. A klasszikus olvasztási és öntési technológiával a legtöbb ilyen anyagot lehetetlen előállítani, mert a szükséges komponensek nem ötvöződnék egymással. A megfelelő fém- és nemfémporokat viszont az adott recept szerint bemérve, jól összekeverve, majd préselve és zsugorítva, viszonylag könnyen lehet átvőzötteket és komplex anyagokat gyártani, mint például a réz-grafit keverékanyag, a bronz-grafit, a volfrám-réz, a volfrám-ezüst, a volfrám-rénium, a molibdén-ezüst, az ezüst-nikkel, az ezüst-kádmium-oxid stb. kombinációk. Ezek a komplex anyagok egy időben teljesíteni tudják mind a nagy elektromos és hővezető képességre vonatkozó követelményeket, mind a korrózió és elektromos erózió romboló hatásával szembeni igen jó ellenállást.

A villamos érintkezőanyagokat és termékeket napjainkban két úton állítják elő: 1. a megfelelő porokat az optimális arányban összekeverik, majd sajtolással tömörítik, és az így nyert nyers darabokat vákuumban vagy védőatmoszférában zsugorítják; 2. a magasabb olvadáspontú fémporból zsugorított, porózus félkész darabot állítanak elő, majd ennek pórusait az alacsonyabb olvadáspontú komponens olvadékaival töltik meg (impregnálják).

a) *A villamos megszakító érintkezők*, amelyek az elektromos áramköröket periodikusan nyitják és zárják, a volfrám jellemző és előnyös tulajdonságait (minimális erózió, nagy keménység és kopásállóság, csekély anyagátvitel egyik érintkezőről a másikra, kicsi hegedési hajlam, igen magas olvadáspont stb.) kell hogy összekombinálják az ezüst vagy a réz jó tulajdonságaival (nagy elektromos és hővezető képesség, lassú és csekély mértékű oxidáció stb.). A W-Ag és W-Cu alapú érintkezőanyagokat rendszerint a porkeverék sajtolása és zsugorítása útján gyártják.

Az ezüst-nikkel érintkezőanyagokat, amelyek szintén az átvőzöttek csoportjába tartoznak, úgy állítják elő, hogy a porkeverékből rudakat préselnek, ezeket zsugorítják, majd körkovácsoló gépeken több fokozatban nyújtják és tömörítik, hogy végül dróthúzóköveken áthúzva, a megadott átmérőjű huzallá alakítsák, rendszerint 1–5 mm-es határok között. Az utolsó fokozatban mechanikus vágással, szeleteléssel jutnak el a korongocskákhoz, pasztillákhoz, amelyeket azután forrasztással rögzítenek a kapcsolók, relék vagy más villamos termékek megfelelő, rendszerint sárgarézből készült alkatrészeire. Más esetekben képlékeny alakítással a huzalból szegecseket gyártanak, és ezeket az előkészített alkatrészek megfelelő furataiba beszegecselik.

Az ezüst-kádmium-oxid érintkezőket nagyon széles körben alkalmazzák, és hazánkban a kolozsvári SINTEROM vállalat milliós sorozatokban gyártja. Ezen érintkezőanyagok rendkívül jó viselkedése azzal magyarázható, hogy a nagyon finom elosztású kádmium-oxid növeli az elektromos erózióval szembeni ellenállást, erősen csökkenti az érintkezőpár összehegedési hajlamát, és elősegíti az áramkör nyitásánál fellépő villamos ív nagyon gyors kioltását. Még egy fontos előnye ennek az érintkezőcsaládnak, hogy jól bírja az esetleges túlterheléseket, amire mindig számítani kell.

b) *A villamos csúszóérintkezők*, amelyeknél a két érintkezőrész egymáson folyamatosan csúszik működés közben, a következő tulajdonságokkal kell hogy

rendelkezzenek: jó ellenállás a korrózió és az elektromos erózió kivédésére, elég nagy kopásállóság, minél jobb ellenállás a villamos ív romboló hatásával szemben, lehetőleg magas elektromos és hővezető képesség, kis hajlam a szikrázásra és minél kisebb súrlódási együttható. A zsugorított fém-grafit anyagok 5—70% grafitot, 0—10% ónt, 0—12% cinket, valamint 0—10% ólomot tartalmaznak úgy, hogy a 100 százalékgig hiányzó részt nagy tisztaságú elektrolitikus réz alkotja. A grafit- és ólomtartalom növelése javítja a csúszási tulajdonságokat. Ezekből az aránylag olcsó porkohászati anyagokból készülnek a korszerű villamos gépek áramszedő keféi és a villanymozdonyok, villamosok és trolibuszok áramszedőibe könnyen cserélhetően beszerelt betétek, amelyeket kopás után újjakkal helyettesítenek. A cél az, hogy a nehezen cserélhető és igen drága réz felsővezeték minél lassabban kopjon el és inkább az áramszedők zsugorított betétei kopjanak, mert ezek cseréje problémamentes és sokkal kifizetődőbb.

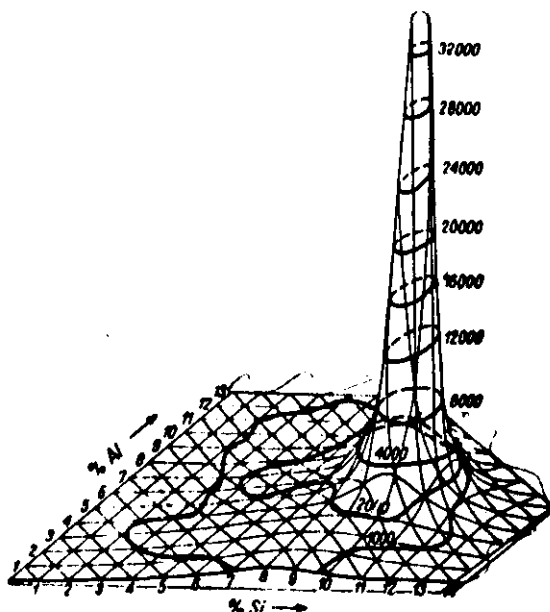
A trolibuszok felsővezetékein csúszó áramszedőkarok kefetuskóit jó eredménnyel készítik 95% vaspor és 5% grafitpor keverékéből úgy, hogy a sajtolás és zsugorítás után 25—30% porozitás maradjon, amit utólag átitatással megolvasztott kénnel töltenek meg, ami sokat javít a csúszási tulajdonságokon. Ez az anyag viszonylag olcsó, és minimális kopást biztosít a felső vezetékeken. Itt is maguknak a nagy sorozatban gyártott porkohászati kefetuskóknak a gyakori cseréje nem okoz gondot és nem kerül sokba, tehát globálisan számolva ez egy nagyon egyszerű megoldás.

Mágneses anyagok és mágnesek fémporokból

A porkohászat útján minden típusú mágneses anyagot elő lehet állítani, és ez a technológia egész sor előnyt tud biztosítani más előállítási módokhoz viszonyítva: igen nagy kémiai tisztaság és nagyon pontosan betartott optimális összetétel a nagy tisztaságú fémporok felhasználásának következtében; az anyagok nagyon finom és homogén szemcsészerkezettel rendelkeznek, ha a fémporokat már eredetileg nagyon finom szemcséjűeknek gyártották és a keveréket gondosan homogenizálták; nagyon jó mechanikai és technológiai tulajdonságokkal rendelkeznek ezek az anyagok és termékek. Következésképpen a porkohászati mágnesanyagok elektromos és mágneses tulajdonságai sokkal jobbak azoknál, amelyeket meg lehet valósítani a klasszikus, öntéssel és képlékeny alakítással előállított anyagoknál.

a) *A lágy mágneses anyagokat nagy tisztaságú és igen finom szemcséjű vasporokból gyártják. Még jobb mágneses tulajdonságok elérésére gyakran különböző összetételű ötvözeteket is használnak, Fe-Ni, Fe-Si, Al-Si-Fe és más porkeverékekből kiindulva. Hogy milyen óriási mértékben függenek bizonyos mágneses tulajdonságok az ötvözet kémiai összetételétől, a 27. ábrán példaként meg van adva az Al-Si-Fe háromalkotós ötvözetrendszer esetében a relatív mágneses permeabilitás változása. Szembeszökő az a maximális, az átlagérték több mint harmincszorosára rugó permeabilitás, amelyik a 9—10% szilícium- és 5—6% alumíniumtartalmú vasötvözetek zónájában könnyen megvalósítható.*

A tömör vasmagok mellett a nagyfrekvenciás áramokkal dolgozó rádió, televíziós és más elektronikai berendezésekben kiterjedten használják a „ferrocart” típusú vasmagokat a tekercsek műanyag testébe becsavarva (az állíthatóság és a rezgőkör hangolhatóságának biztosítására). Itt a finom mágneses fém- vagy ötvözetport hőre keményedő műanyagporral keverik össze megfelelő arányban, majd a porkeveréket elektromosan fűtött prészerszámokban az előírt hőmérsékleten készre sajtolják, Itt utólagos zsugorításra természetesen nincs szükség.



27. ábra. A mágneses tulajdonságok változása az Al-Si-Fe háromalkotós ötvözetrendszerben.

b) A kemény mágneses anyagok heterogén szerkezetében két fázist lehet általában megkülönböztetni: egy nagyon finom elosztású mágneses fázist és egy, az előbbi magába foglaló nemmágneses fázist, amelyet mátrixnak is neveznek. A nagyon finomra őrölt mágneses anyagot, amelynek szemcseméretei meg kell hogy közelítsék a mágneses „monodoménéket”, egy kötőanyagként dolgozó porral keverik össze, majd acél présszerszámokban a megfelelő alakra és méretre sajtolják. Ezt követi a nagyon hosszan tartó zsugorítás hidrogénben vagy vákuumban (néha 20 óráig is), majd egy lágyító hőkezelés bizonyos fázisok kiválására, kicsapódására minél finomabb elosztásban. Sokszor még egy termomágneses hőkezelést is alkalmaznak a végén erős mágneses térben, körülbelül 600 C°-on.

A legelterjedtebben használt, nagy koercitivitású kemény mágneses anyagok, amelyekből a permanens mágnesek készülnek, nagy nikkeltartalmúak, és a Fe-Al-Ni (Alni-nek nevezett), illetve Fe-Al-Ni-Co (Alnico-nak nevezett) rendszerekbe, családokba tartoznak. Az utóbbi években mind nagyobb jelentőségre tesznek szert a rendkívül jó mágneses tulajdonságokkal rendelkező kobaltot és ritka földfémeket tartalmazó új mágneses anyagok. Példaként meg kell említeni a szamáriumot (SmCo_5) és neodímiumot tartalmazó anyagokat, amelyeknek az egységnyi tömegre és az egységnyi árra eső mágneses energiája sokkal nagyobb, mint a más mágneses anyagok esetében.

A korszerű porkohászati mágneses anyagok tették lehetővé az utóbbi évtizedekben a mikromotorok, elektromos mérőkészülékek és műszerek, az elektronikus számítógépek és sok más elektrotechnikai és elektronikai termékek nagyfokú miniaturizálását (méretcsökkentését).

Ugyancsak a porkohászat technológiáját alkalmazva gyártják egyre nagyobb mennyiségben és változatosságban a különböző fémek oxidjainak porából a ferriteknek nevezett, nagyon jó és nagyon olcsó permanens mágnesek tömeggyártására használt anyagokat. Ezek közül a legelterjedtebben a Baferrit-nek nevezett bárium-ferrit por

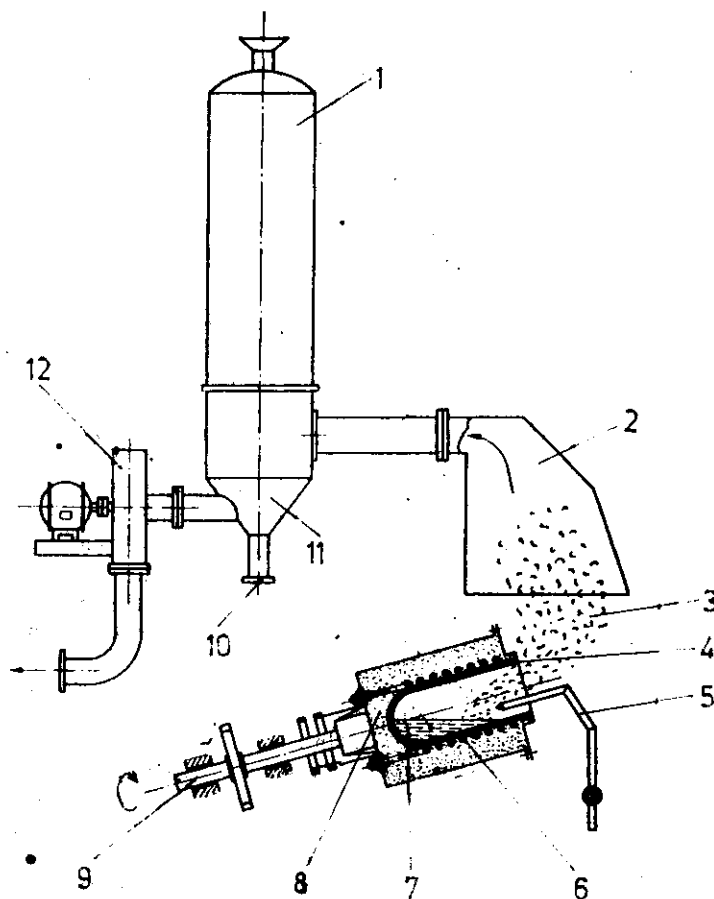
($\text{BaO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$) alapú kemény mágnesanyagot használják például a bútorokba szerelt mágneszárak, mágneses szappantartók, sakkfigurák és sok más közismert használati cikk gyártásához, hogy ne is beszéljünk ezeknek a permanens mágneses tulajdonságú alkatrészeknek az ipari felhasználásáról. Nálunk Urziceni-ben dolgozik egy modern, ferrit-termékeket gyártó ipari üzem.

Volfrámgyártás és más magas olvadáspontú fémek, ötvözetek és anyagok gyártása

Az igen magas hőmérsékleteket is tartósan kibíró, hőálló fémes anyagokat a korszerű technika számos ága használja fel egyre szélesebb körben huzalok, lemezek, szalagok, rudak, kivágott és mélyhúzott alkatrészek, valamint más hengerelt, kovácsolt, extrudált, hajlított és hegesztett félkész-, illetve végtermékek előállítására. A felhasználott, fémporokból és más természetű porokból gyártott anyagok számos, igen nehéz követelménynek kell hogy egyidejűleg megfeleljenek: minél magasabb legyen az olvadáspontjuk; jó vagy legalábbis még elfogadható mechanikai tulajdonságokat őrizzenek meg minél magasabb hőmérsékleteken is; jó stabilitással rendelkezzenek a magasabb hőmérsékleteken fellépő átkristályosodással és szemcseszerkezet-durválással szemben, és ez az újrakristályosodási hőmérsékletük minél magasabban legyen; jó oxidálódással (elégéssel) szembeni ellenállással bírjanak a rendszerint igen magas (1000°C fölötti) üzemi hőmérsékleteken is; nagy legyen a tartós folyáshatáruk még a magas hőmérsékleteken is; jól bírják a hőlékéseket (gyors hőmérséklet-változásokat); a lehetőségek határain belül minél kisebb legyen a sűrűségük, különösen akkor, amikor ezeket a speciális anyagokat a repülőgépgyártásban vagy a rakéta-, űrhajó- és mesterségeshold-technikában kívánjuk felhasználni.

Azok a korszerű anyagok, amelyek megfelelnek ezeknek a nagyon szigorú követelményeknek, három csoportba oszthatók: a. magas olvadáspontú fémek, mint a W, Mo, Ta, Nb stb., valamint ezek ötvözei; b. karbid-, borid-, nitrid-, szilicid- és más hasonló magas olvadáspontú vegyület alapú hőálló anyagok, amelyekbe kötőanyagként különböző fémeket visznek be; c. magas olvadáspontú fémoxidokból és fémes kötőanyagokból álló anyagok, amelyeket *kermeteknek* is neveznek (a *keramikus* és *metallikus* szavak összevonása alapján). Ezen speciális anyagok legnagyobb részét nem lehet előállítani csak kizárólag a porkohászat technológiája útján, mert más gyártási módszereknél nagy technikai és technológiai nehézségek, illetve gazdasági hátrányok lépnek fel, vagy a termék minősége sokkal gyengébb, tehát gyakorlatilag nem megfelelő.

A különleges hőálló anyagok, amelyek igen magas hőmérsékleteken is kielégítően viselkednek, szolgálnak kiindulóanyagként egy egész sor alkatrész és termék gyártásánál, amelyek kulcspozíciókat foglalnak el a korszerű technika és technológia számos ágában. Ezek közül érdemes megemlíteni a villanykörték, higanygőzlámpák, fénycsővek, nátriumgőzlámpák, elektroncsövek, röntgencsővek, televíziós képcsövek stb. gyártásához abszolút nélkülözhetetlen izzószálak, huzalrácsok, izzókatódok, anódlemezek és korongok, különböző tartóelemek és más magas hőigénybevételeknek kitett alkatrészek nagy családját; a rendkívül magas hőmérsékleteken dolgozó elektromos ellenállás-kemencék fűtőelemeit; a lökhajtásos motorok és más rakéta- és űrhajómeghajtó berendezések égókamráit, forró gázokat terelő és ezekkel közvetlenül érintkező alkatrészeit; a nagyon nagy hőmérsékletű és nyomású gázokkal működő turbinák lapátjait; több különleges hegesztési módszernél alkalmazott nemfogyó, rendszerint tiszta volfrámból készített elektródákat (az argon-védőgázos hegesztésnél, az arcátom hidrogéngázos hegesztésnél stb.).



28. ábra. Szublimálás után dolgozó molibdén-trioxid tisztítóberendezés elvi működése: 1 — zsákszűrő-porleválasztó; 2 — gőzelszívó gyűjtőharang; 3 — MoO_3 gőzök; 4 — kvarctégely; 5 — sűrítettlevegő-betápláló cső; 6 — fűtélelemek; 7 — megolvasztott molibdénkoncentrátum fürdő; 8 — ferde tengelyű forgókemence; 9 — a kemence tartótengelye; 10 — tisztított molibdén-trioxid leeresztőcső tolózárral; 11 — koncentrátum-összegyűjtő tartály; 12 — ventilátor.

a) A magas olvadáspontú fémek porkohászati előállítására nagy előnyöket biztosít: a gyártott fém igen nagy tisztaságú és a szükséges üzemi hőmérsékletek jóval alacsonyabbak az adott fém olvadáspontjánál, és így jóval könnyebben és kényelmesebben fenntarthatók. Rendszerint a nagy tisztaságú fémporokból az ismert módon félkész darabokat sajtolnak és zsugorítanak, majd ezeket további megmunkálásnak vetik alá képlékeny alakítási módszerekkel (kovácsolás, hengerelés, dróthúzás, kivágás, mélyhúzás, hajlítás stb.).

Az igen tiszta volfrám- és molibdénporokat legtöbbször ezen fémek oxidjainak csőkemencékben, nagyon tiszta és igen száraz hidrogénnel történő redukciója útján állítják elő, aránylag alacsony hőmérsékleteken (900°C° alatt). Példaként érdemes megemlíteni, hogy a nyers molibdén-trioxidot, amelyet a molibdéntartalmú ércekből a klasszikus kohászati módszerekkel állítanak elő, 1000°C° körül végrehajtott szublimálás (szilárd fázisból történő közvetlen elpárologtatás) útján tisztítják forgó elektromos kemencékkel dolgozó különleges berendezésekben (28. ábra), és az így nyert szuperkoncentrátum MoO_3 -tartalma 99,98 %-os!

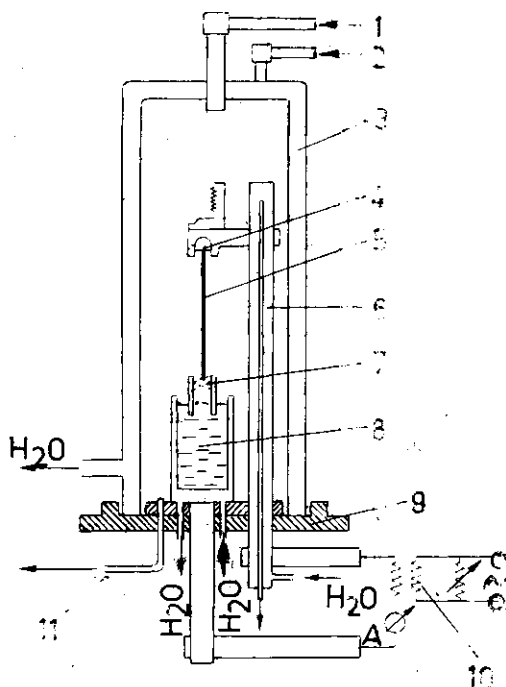
A redukció útján gyártott, igen finom, 2–8 μm -es szemcseméretű molibdén- és volfrámporokat 1,5–3 tonna/ cm^2 nyomással pálcákká, rudakká sajtolják nagy hidraulikus présekre szerelt szétszedhető és billenő acél sajtolószerszámokban. Itt a sajtolás utáni porozitás szokatlanul nagy, körülbelül 40 százalékos. A zsugorítást két szakaszban végzik el. Az eredeti, 6x6x200 mm és 30x60x750 mm határok között levő préselt rudakat 1200 °C körül előzsugorítják hidrogénatmoszférában, hogy egy megfelelő, minimális mechanikai szilárdságot lehessen biztosítani. A második zsugorítást viszont igen magas, az olvadáspontokat megközelítő hőmérsékleteken végzik, különleges, erre a célra szerkesztett, hidrogén védőgázzal dolgozó zsugorító harangkemencékben (29. ábra). A szükséges hőmérséklet a volfrám esetében 3000 °C körül, a molibdénnél viszont 2200–2400 °C között kell hogy legyen. Ezt úgy érik el, hogy az előzsugorított, még erősen porózus fémrudak végeit két, vízzel hűtött volfrám befogószerszámra szorítják be, majd rajtuk közvetlenül nagyon nagy áramerősségű, de kisfeszültségű váltóáramot vezetnek át. Így a fűtőelemként kapcsolt rudak felizzanak a beállított és gondosan ellenőrzött zsugorítási hőmérsékletre, amelyet azután állandó értéken tartanak az egész zsugorítási folyamat alatt. Érdekes, hogy itt igen nagy, 18 százalékot is elérő zsugorodás (méretcsökkenés) megy végbe, de így is a porozitás nem száll 10–12% alá. A tömörség és sűrűség további növelésére rendszerint körkovácsológépeken történő képlékeny alakítást alkalmaznak, a volfrámnál 1100–1350 °C-on, és ezáltal a porozitás gyakorlatilag nullára csökkenthető. A gyorsan forgó körkovácsológépek üreges tengelyein lassan és folyamatosan áttolt W vagy Mo rudakat percenként körülbelül 10 000 ütéspár éri sok irányból, és így azok mechanikai és technológiai tulajdonságai igen kedvező értékeket vesznek fel.

A volfrámhuzalok gyártásánál a kovácsolás után következő dróthúzást sok egymást követő lépésben melegen végzik. Eleinte a még vastagabb húzott 800 °C-ra melegítik a húzókövek előtt elhelyezett gázlángokon, majd a húzási hőmérsékleteket fokozatosan 400 °C-ig lehet csökkenteni. Körülbelül 0,3 mm átmérőig zsugorított keményfémből készült húzóköveket használnak, majd ezen méret alatt gyémántból készült húzókövek következnek. A rendkívül vékony volfrámhuzalokkal kapcsolatban érdemes megemlíteni azt az igen érdekes utolsó vékonyítási technológiát, amelynél a húzóköveken tovább már nem vékonyítható, például 0,014 mm átmérőjű húzott egyetlen lépésben 0,007 mm-es átmérőjűre lehet levékonyítani egy 45 másodpercig tartó, 340 °C-os NaOH és NaNO₃ összeolvasztásából keletkező fürdőn való folyamatos áthúzással. Vízzel végrehajtott mosás és szárítás után így lehet eljutni az emberi hajszálnál is sokkal vékonyabb volfrámhuzalhoz, amelyből azután a duplaspirál (kétszeresen spirálozott) izzószálakat készítenek. Az előbbi műveletnél feloldódott tetemes W-mennyiséget természetesen utólag kémiai úton visszanyerik és újrafelhasználják.

A volfrámlemezek és -szalagok gyártásánál körkovácsolás helyett 1700-tól 1400 °C-ig terjedő intervallumban közönséges kovácsolást és azután több lépésben végrehajtott meleg hengerlést alkalmaznak. A vékony lemezek fokozatos hengerlését még melegen végzik 1 mm-ig, majd ezen vastagság alatt hidegen hengerelnek.

A volfrámhuzalokat és -rudakat az előbbiekből felsorolt alkalmazási területeken kívül még az autók és motorkerékpárok benzinmotorjaiban a szikragyújtást biztosító árammegszakító „platinák” gyártására, valamint a már említett villamos érintkezőpasztillák és más különleges termékek előállítására használják fel.

A molibdénhuzalokat, -rudakat és -lemezeket felhasználják: a volfrám izzószálak gyártásánál a szimpla- és duplaspirálok molibdéndrót-magra való feltekercselésénél, ahol a Mo-magot utólag savakban kioldják az elkészített spirálból, hogy a nagyon finom és minden mechanikai hatásra rendkívül érzékeny volfrámspirált így felszabadítsák és az előállítást befejezzék; az izzólámpa és elektroncső gyártásánál a W izzószálakat, rácsoakat és anódokat tartó lábak, kengyelek készítésére; az 1800 °C-ig dolgozó védőatmoszférás villamos kemencék fűtőelemeinek gyártására; az elektroncsövek, TV-képcsövek és a



29. ábra. Az előzsugorított volfrám- és molibdénrudak végső zsugorítására szolgáló harangkemence: 1 — hidrogén-védőgáz-bevezetés; 2 — hűtővíz-kilépés; 3 — vízzel hűtött duplafalú harang; 4 — vízzel hűtött, volfrámból készült befogószerkezet; 5 — zsugorítandó W vagy Mo rúd (pálca); 6 — vízzel hűtött réz tartóállvány; 7 — szabadon mozgó alsó befogószerkezet; 8 — vízzel hűtött higanyfürdő-kontaktus; 9 — alaplemez; 10 — finoman szabályozható transzformátor; 11 — hidrogén-kivezetés.

modern elektronsugaras kemencék, hegesztő- és vágóberendezések elektronágyúiba beépített különböző alkatrészek gyártására, valamint a mai csúcstechnika más ágaiban alkalmazott különleges műszerek és berendezések egyes kényes és igényes alkatrészeinek előállítására.

A *tanításhuzalokat és -lemezeket* felhasználják: a nagyon magas hőmérsékleteket mérő és szabályozó hőelemek (termoelemek) gyártására; a komplex orvosi berendezések és műszerek, valamint egyes vegyipari készülékek, berendezések és reaktorok speciális alkatrészeinek előállítására; a radioaktív izotópok szállítását, raktározását lehetővé tevő kapszulák, burkolatok készítésére; a rádió- és TV-adóállomásokon alkalmazott nagy méretű és nagy teljesítményű elektroncsövek anódjainak előállítására és más különleges termékek gyártására.

Az *uránium-, tórium és cirkóniumporokból* zsugorított termékeknek és ezen fémek vegyületeinek egyre nagyobb jelentősége van az atomerőművek és más különleges tudományos és ipari berendezések építésénél, amelyek kulcspozíciókat foglalnak el a mai és holnapi csúcstechnikában és technológiában.

b) A *karbidokból, boridokból, nitridekből, szilicidekből és más magas olvadáspontú vegyületekből* zsugorított *hőálló anyagok* gyártásához ezen vegyületek porait használják fel, a keverékekhez kötőanyagként más fémporokat is adagolva (Cr, Ni, Mo, Co, Nb stb.). A zsugorítás közben itt különböző ötvözetek és komplex állótvözetek képződnek, és nagyon érdekes és értékes mechanikai, termikus, elektromos és kémiai tulajdonságok alakulnak ki. Példaként érdemes megemlíteni a gázturbinák lapátjainak gyártására felhasznált anyagokat, amelyeket króm- és titánkarbidporok keverékéből és az ehhez kötőanyagként adagolt 10–60% Cr-Ni, Co-Cr, vagy Ni-Co-Cr előötvözetporokból állítanak elő, rendszerint izosztatikus sajtolással és az ezt követő zsugorítással 1250–1650 °C közötti hőmérsékleteken, védőatmoszférás vagy vákuumkemencékben. További, a gyakorlatban jól kihasznált előnyt jelent ezeknél az anyagoknál az igen nagy

keményység és a rendkívül jó kopásállóság, de ezek ugyanakkor bizonyos technológiai nehézségeket is okoznak, mivel a termékek megmunkálását a nagy keménység miatt csak fémkötéses gyémántszerszámokkal, illetve elektroeróziós vagy elektronsugaras berendezésekkel lehet megvalósítani.

c) *Kermet alapú hőálló anyagokat* állítanak elő keramikus porok (hőálló fémoxidok, karbidok, boridok, szilicidok stb.) és fémporok megfelelő arányú keverékeiből sajtolással és zsugorítással. A fémes kötés kialakítására Fe, Ni, Cr, W, Mo és különböző előtűzvetporokat használnak. A kermetek tulajdonságai az összetételtől, a keramikus és fémes összetevők tulajdonságaitól, az ezek között zsugorításkor kialakuló kapcsolatoktól, kötésektől és a végtermék szerkezetének finomságától függenek.

A legelterjedtebben használt kermetek alumínium-oxid alapúak, és az $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Ni}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{+Cr}_2\text{O}_3\text{-Fe}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Mo}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-W}$, $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-Al}$ (ez utóbbi az úgynevezett SAP család) és más rendszerekbe tartoznak. A alumínium-oxid—króm alapú kermeteket, magas hővezetőképességük és 1200°C -ig érvényes kiváló oxidációval szembeni ellenállásuk miatt, széles körben használják magas üzemi hőmérsékleteken dolgozó és erősen igénybe vett alkatrészek gyártására. A W és Mo kötésű kermetek, ezen fémek rendkívül magas hőállósága miatt, nagyon jól megőrzik előnyös mechanikai tulajdonságaikat a magas és nagyon magas hőmérsékletek tartományában is.

A SAP (Sinter Aluminium Pulver) típusú kermetek tulajdonképpen alumínium-oxiddal optimális mértékben „szennyezett” és zsugorított alumíniumból állnak, és a jó hőállóságuk miatt, megőrizve jó mechanikai tulajdonságaikat $400\text{—}500^\circ\text{C}$ -ig is, valamint kis fajsúlyuknak köszönhetően igen elterjedtek a repülőgépgyártásban, az autógyártásban és az atomerőművek építésénél.

Kermetekből gyártanak jó hőállóságuk miatt sok érdekes és fontos terméket: magas hőmérsékleteket mérő pirométerek védőcsöveit; kemencék munkaterét az égőtértől elválasztó kamrákat, dobozokat; olvadt fémsugarakat szabályozó vagy elzáró gyűrűket és dugókat, rudakat; rakéta- és rakétahajtómű-alkatrészeket; fémforgácsoló szerszámokra rögzítendő vágólapkákat (melyeknek nagy a keménysége, kopásállósága, kicsi a forgácsolt fémhez való hozzáhegedési hajlama, nagy hőmérsékleteket és vágósebességeket bírnak ki, és az áruk is viszonylag alacsony, azonban jóval törekenyebbek és ezáltal kényesebbek, mint a vofrám-karbid alapú zsugorított keménymétekből gyártott vágólapkák); nagyon jó tulajdonságokkal rendelkező súrlódó anyagokat és termékeket; más, olcsóbb fémek védelmét szolgáló felületi bevonatokat (például a rakétamotorok égőkamráinál, a forró gázsugarakat irányító alkatrészeknél, a különösen nehéz körülmények között dolgozó turbinalapátoknál stb.); erősen igénybe vett alkatrészeket az atomreaktorokba, villamos kemencék speciális fűtőelemeit stb.

Tartalom

Bevezetés. Porkohászat a modern technikában	3
Fémporok gyártása	5
Fémporok sajtolása acélszerszámokban	7
Fémporok izosztatikus sajtolása	10
Fémporok hengerlése	12
Porkohászati sajtológépek és szerszámok	13
Porkohászati zsugorítókemencék	17
Önkenő csapályak fémporokból	22
Porózus fémszűrők és elektródák	23
Porkohászati úton előállított gépalkatrészek	24
Zsugorított keményfémek	25
Fémkötéses gyémántszerszámok	27
Súrlódó anyagok fémporokból	29
Villamos érintkezőanyagok és áramszedő kefék fémporokból	30
Mágneses anyagok és mágnesek fémporokból	31
Volfrámgyártás és más magas olvadáspontú fémek, ötvözetek és anyagok gyártása	33

