

Alkatrészek környezetbarát bevonata kopásvédelem céljára

Dipl. Ing. Eckhard Voß, *Wendel GmbH*.
(Email Mitteilungen, 6/2007)

(Fordította: Dr Való Magdolna)

1. Előszó

A gépelemek üzemi használatban különleges kopási igénybevételnek vannak kitéve, ami azok élettartamát jelentősen korlátozza. A kopás csökkentésére ezeket az alkatrészeket védőréteggel látják el, amely emissziójuk stb. által a környezetük terheléséhez vezet. Általános célja az új bevonatoknak az igényes alkatrészeket kevésbé környezetterhelő, egyszerű és költségtakarékos módon kopásgátló, jól tapadó, túlnyomóan fémes bevonattal ellátni, anélkül, hogy költséges bevonó berendezésre lenne szükség, az ezzel összefüggő környezetterheléssel együtt. A réteg felvitele többnyire egyszerű eljárással, mint mártás, festés, vagy préslevegővel való szórással történik, és egy beégetési folyamat követi. Az eljárásnak olyannak kell lennie, hogy a relatív bonyolult geometriájú darabokat is be lehessen vonni, és hogy az eljárás különböző nagyságú darabokhoz is alkalmas legyen. A bevonatnak keménynek kell lennie, 60 HRC felettinek kb. 100 μm – 1 mm rétegvastagságnál, nagy ellenállást kell tanúsítania abrazív igénybevételnél, és ennek ellenére kielégítő kell legyen a duktilitása.

Ez azáltal érhető el, hogy két teljesen különböző bevonó anyag újszerű kombinációját alkalmazzuk, poralakban keverjük zománccal, iszapként visszük fel, és ezt követően a szokásos hőkezeléssel kiégetjük egy pórusmentes, tömör réteggé, fémes kötést az alapanyaghoz.

A következőkben a kopási tulajdonságok (keménység) vizsgálati lehetőségét, valamint a kopóréteg előállításához alkalmas felviteli módszert ismertetjük.

2. A keménység definíciója

A keménység mechanikai ellenállás, amit egy test egy behatoló más testtel szemben tanúsít. A keménységnél egy anyag ellenálló képességét definiálják egy test hatásával szemben.

A keménységet több anyag vagy anyagállapot összehasonlításával fejezik ki. Új definícióként a kompresszió sűrűségét adják meg.

Elvileg megkülönböztetik a statikus és a dinamikus keménységvizsgálatot. A dinamikus vizsgálati eljárásnál a vizsgálandó rész terhelése ütésszerű, a statikus eljárásnál a terhelés azonos marad vagy fokozatosan növekszik.

2.1 Mohs-féle karcolási keménység vizsgálata

A kemény anyagok lágyan karcolódnak. Ez az alapja a Fridrich Mohs szerinti keménység vizsgálatnak, amely főként az ásványtanban terjedt el. Mohs geológus volt, különböző ásványokat karcolt meg egymással és keménységük szerint sorolta be azokat. A kiválasztott ásványok számértéke szerinti besorolásával keletkezett egy relatív keménységi skála, a Mohs skála, amely az ásványtanban, geológiában és a kerámiában használatos lett. Az ásványok keménységi adatai mindig a Mohs skálára vonatkoznak, ha más nincs megadva. Az **1. táblázat** tartalmazza a Mohs skálát, a Vickers keménység megfelelő értékével (lásd 2.3)

Ásvány	Mohs keménység	Vickers keménység	Megjegyzés
Zsírő	1	2,4	Körömmel kaparható
Gipsz vagy kőso	2	36	Körömmel karcolható
Kalcit	3	109	Rézérmével karcolható
Fluorit	4	189	Késsel könnyen karcolható
Apatit vagy mangán	5	536	Késsel még karcolható
Földpát	6	795	Acéllal karcolható
Kvarc	7	1.120	Ablaküveget karcolja
Topáz	8	1.427	
Korund	9	2.060	
Gyémánt	10	10.060	A legkeményebb ásvány, csak magával karcolható és (melegen) bőr-nitriddel

1. táblázat
Mohs és Vickers keménység összehasonlítása

2.2 Brinell-féle benyomódási keménység vizsgálata

A vevők, különösen fémek esetében, mindenekelőtt olyan vizsgáló eljárást alkalmaznak, amelyik a benyomódási keménységet méri. Ennél szabványosított vizsgálótestet, rögzített feltételek mellett, nyomnak be a vizsgálandó darabba. Végül megméri a megmaradt nyomat felületét vagy mélységét.

A svéd mérnök, Johan August Brinell 1900-ban kifejlesztette és a párizsi világkiállításon bemutatta a lágy és a középkevény fémek keménységi vizsgálatának módszerét

(DIN EN ISO 6506), pl az ötvözetlen szerkezeti acélnál vagy az alumínium ötvözeteknél, fánál (ISO 3350) és szabálytalan szövetszerkezetű anyagnál, mint öntöttvas. Ezeknél egy acélgolyót, vagy egy keményfém golyót, meghatározott erővel - F - a vizsgálandó anyag felületébe nyomnak.

Az utolsó szabvány szerint, 2006 óta az acélgolyó már nem megengedett. A szabvány most minden anyag számára szinter keményfém golyót ír elő.

10-15 mp-es terhelési idő után acélok és öntöttvas esetén, 10-180 mp-es terhelés után nem vas fémek vagy ezek ötvözeténél, a megmaradó benyomat átmérőjét méri le, és ebből határozzák meg a benyomat felületét. A meghatározandó átmérő d a megmaradt benyomat két derékszögű, egymás melletti d_1 és d_2 átmérőjének közép-arányosa. Anizotrop alakváltozásnál a keménység számításához szükséges átmérőt a nagyobb d_1 és a kisebb d_2 átmérőből számítják ki:

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

A vizsgáló erő arányát a benyomat felületéhez szorozni kell 0,102-vel, ez lesz a Brinell keménység. A megadott faktor a 9,81-nek a reciproka értéke, és Newton egység kilopond egységre való átszámításához szolgál. Ezzel biztosítják, hogy a keménységmérés a modern egység alkalmazásával ugyanazt az eredményt adja, mint a hisztorikus érték, ami ma már kiöregedett egységen alapszik.

$$HB = \frac{0,102 \cdot 2 \cdot F}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

2.3 Vickers-féle benyomódási keménység vizsgálata.

A Brinell vizsgálathoz nagyon hasonló az 1925-ben Smith és Sandland által kifejlesztett, és a brit repülőgép építő cég által Vickersnek nevezett keménység vizsgálat, amely keményebb és egyenletes felépítésű szerkezeti anyag vizsgálatára szolgál, de vékonyfalú vagy felületkeményített darabok és peremzónák vizsgálatához is. Ezt a DIN EN ISO 6507 szabvány szabályozza. A Rockwell vizsgálattal ellentétben (lásd 2.5) egy azonos oldalú, 136°-os nyílásszögű gyémántgúlát, meghatározott erővel nyomnak be a vizsgálandó darabba. A megmaradt benyomat átlójának hosszát mikroszkóppal meghatározzák, ebből számítják ki a benyomódás felületét. Az alkalmá-

zott erő, Newton egységben, viszonyítva a benyomódás felületéhez (mm-ben), 0,1891 faktorral szorozva adja a Vickers keménységet..(HV)

2.4 Knoop-féle benyomódási keménység vizsgálat

A Vickers keménységvizsgálat különleges formája az amerikai fizikus és mérnök Frederick Knoop után elnevezett keménység vizsgálat (DIN EN ISO 4545) A Vickers vizsgálat számára alkalmazott azonos oldalú gyémántheggyel szemben a Knoop vizsgálatához rombikus formát alkalmaznak. A csúcsszög hosszában $172,5^\circ$, a rövidebb oldalon 130° . A benyomtatnak csak a hosszanti átlóját mérik le. A Knoop vizsgálatot főleg a sprőd anyagoknál alkalmazzák, mint pl. kerámia vagy szinteranyagok.

2.5 Rockwell-féle benyomódási keménység vizsgálat.

Az amerikai mérnök és cégalapító Stanley Rockwell 1920-ban kifejlesztett keménység vizsgálatokat, amelyeket meghatározott területekre specializált. A különböző eljárásokat HR-rel jelölte, és még egy jellel látta el. Például a Rockwell jel HRA, HRB, HRC vagy HR15N. Lemezek keménység vizsgálatánál 0,20 mm vastagságig HR15T és e felett HR30Tm.

Egy szerkezeti anyag Rockwell keménységét a kúp alakú gyémánt vizsgálótest benyomódási mélysége adja meg. Ez a DIN EN ISO 6508 szabványban van rögzítve, és HRC-nek rövidítik, a C az angol cone szóból (kúp) származik. Meghatározott vizsgáló erővel nyomják a vizsgálandó anyag felületébe a kúpot, amelynek csúcsszöge 120° . (előterhelés). A vizsgáló test benyomódási mélysége szolgál vonatkozási síknak. Ezután lép be a benyomódó test a főterheléssel legalább két, maximum hat másodpercre. Végül ezt ismét eltávolítják, úgy, hogy ismét csak az előterhelés hasson. A főterhelés ráhelyezése előtti és utáni mélységi különbség lesz a mértéke az anyag Rockwell keménységének. A gyémánt kúp benyomódási mélységét közvetlenül egy mérőórával határozzák meg, amely a vizsgáló csúccsal van összekötve. Az óra skáláján lehet a keménység értékét Rockwell egységben (HRC) közvetlenül leolvasni. Ez a vizsgáló eljárást mindenekelőtt a nagyon kemény anyagoknál alkalmazzák. További benyomódó test a keménység golyó 1,5875 mm (HRB, HRF, HRG) vagy 3,175 mm (HRE, HRH és HRK) átmérővel.

2.6 Shore-féle keménység vizsgálat

A Shore keménységet Albert Shore után nevezték el, ez elasztikus anyagok és műanyagok jellemzője. A vizsgálatot a DIN 53505 és a DIN 7868 szabvány tartalmazza. Gumi és hasonló anyagok vizsgálatához egy rugóval ellátott stiftet alkalmaznak, amelynek a próbába való benyomódása az anyag Shore keménységének a mértéke, amelyet egy 0 Shore (2,5 mm benyomódási mélység) és 100 Shore (0 mm benyomódási mélység) közötti skálán fejeznek ki.

2.7 Barcol keménység

A Barcol keménység az üvegszál erősítésű műanyagok (GFK) keménységi skálája. A DIN EN 59 szabvány szerint a Barcol keménységet, mint a Shore keménységet is, egy kézi mérőeszköz és egy lapos végű kúpcsontk segítségével mérik meg.

2.8 Martens keménység

Ennél az eljárásnál a terhelés és az elengedés fázisa alatt folyamatosan mérik az erőt és a benyomódási mélységet. A Martens keménységet (HM) a maximális erő és az ehhez tartozó érintkezési felület aránya határozza meg, és mm²-re eső Newton egységben fejezik ki. A **2. táblázatban** néhány keménységi vizsgálatot hasonlítunk össze.

Eljárás		Benyomódó test	Előnye és hátránya	Alkalmazása
Brinell HB		acélgolyó	pontos, reprodukálható érték csak lágy és közepesen kemény anyagokhoz	lággyított és nemesített acél, könnyűfém, nehézfém
Vickers HV		gyémántkúp	általánosan használható vizsgálat, közepesen kemény és kemény anyagokhoz	keményített acél, keményített felületi réteg, szerkezet-elemek
Rockwell	HRC HRA	gyémántkúp	direkt mutatója a keménységi értéknek, kemény anyaghoz	keményített acélok és ötvözetek, kemény fémek
	HRB HRF	acélgolyó	direkt mutatója a keménységi értéknek, közepesen kemény és lágy anyagokhoz	Nem keményített acélok, CuZn ötvözetek

2. táblázat

3. Keménység és duktilitás

Duktilitás – a latin ducere (húzni, irányítani, vezetni) szóból származik – az anyagnak az a tulajdonsága, hogy túlterhelésnél erősen megváltozik, mielőtt tönkremegy. Pl. az üveg nem mutat észrevehető változás, ezzel szemben az acél 25 %-os nyúlást mutat, mielőtt elszakad.

A ridegség megmondja, hogy milyen mértékben lehet egy anyagot plasztikusan alakítani, amíg repedések keletkeznek, és végül az anyag elszakad. A nagyon kemény anyagok nagyfokú ridegséget mutatnak, mint pl. a gyémánt, karbidok, nitridek, sók és a kerámiák.

A dörzsölésállóság a felület ellenállóképességét mutatja mechanikai igénybevétellel szemben, különösen dörzsöléssel szemben. A dörzsölésállóság az anyag felületi tulajdonsága, főként az érdesség és a keménység határozza meg.

Egyedül a keménység nem garantálja a hosszú élettartamot.

4. Kemény anyagok

A kemény anyagok nagy keménységet és kopásállóságot mutatnak. Ezeknek az anyagoknak nagy műszaki jelentőségük van. A sokrétű tulajdonságaik és különböző alkalmazási területük miatt nehéz a kemény anyagok összefoglaló definíciója. A következő jellemző tulajdonságok érvényesek a kemény anyagokra:

- Nagy keménység
- Nagy kopásállóság
- Magas olvadáspont
- Jó kémiai ellenállóképesség

A mechanikai tulajdonságok, mint pl. a húzószilárdság, nyúlás vagy hajlítási szilárdság, erősen függenek a kemény anyag fajtájától. Ez érvényes az elektromos vezetőképességre is.

A kemény anyagok tulajdonságai szorosan összefüggenek ezeknek a vegyületeknek a szerkezetével. Attól függően, hogy kovalens vagy fémes kötésük van, különbség mutatkozik a fémes és a nemfémes kemény anyagok között. Pl. a következő vegyületeket alkalmazzák: a szilícium, bór és titán karbidját és nitridjét, valamint korundot és gyémántot.

5. Felviteli eljárások

Gyakori eljárása a kemény anyagok felhordásának a lángszórás vagy a hegesztés. Részleteiben a következő eljárásokat különböztetjük meg:

5.1 HVOF

Viszonylag fiatal eljárás a fémszórás technikában a HVOF (High Velocity Oxygen Fuel) porszórás. Ennél a gázsebesség eléri a 2400 m/s-t, amely a szórt részecskét 800 m/s-ig gyorsíthatja fel.

5.2 PVD eljárás

A PVD (Physical Vapour Deposition) azt a leginkább fémes bevonatot jelenti, amelyet fizikai, gőzlecsapási folyamattal végeznek, plazma-aktív eljárás segítségével.

5.3 Lézeres felrakó hegesztés

Az eljárás direkt fémfelrakó eljárást is jelent (Lasercladding, LaserCusing), ismeretes, mint lézerbevonás vagy lézerfelvitel, és részleges kopásvédelemre szolgál a legkülönbözőbb fémek / ötvözetekből, vagy funkcionális réteg csúszócsapágy számára, hővédelemre stb. A felrakó hegesztést drót vagy porvezetéssel lehet végrehajtani.

5.4 Felrakó hegesztés

A felrakó hegesztést acélok korrózióálló réteggel való plattírozásához alkalmazzák, DIN 8556 szerint, vagy kopásálló anyaggal stb. való páncélozáshoz pl. szerszámok vagy szelepek esetében. Az eljárás kopott részek újragyártására is szolgál vagy kopásálló illetve korrózióálló felületek előállításához, hernyóvarrathoz, gáz-ív- és védőgázos hegesztéssel. Alkalmaznak olyan anyagokat, amelyek védőgázzal vagy anélkül is felvihetők.

5.5 CVD eljárás

A CVD eljárásnál (Chemical Vapor Deposition) kopásvédő és korrózióvédő rétegek leválasztását végzik a munkadarabra, idegen elemekből félvezető felületre vagy nagy tisztaságú üvegekből. Ellentétben a rágózóléssel, a gázfázisból kémiaiag keletkezik a felviendő anyag 500 és 1100° C között.

Az említett eljárások alkalmazását korlátozza a kedvezőtlen geometria és az üregek.

6. Hardpaint

Ezt a nevet a fémes anyagokra kenhető és a mátható kemény bevonatok számára alkalmazzák. Az új fejlesztések által lehetséges lett a komplikált darabok bevonása is kemény réteggel. Az ötlet szerint zománcból vonják be a darabokat és kiégetik.

Fémportól, őrölt zománcból és adalékokból iszapot készítenek. Az arány: kb. 10 % zománc és 90 % fémpor. Ezt az iszapot felviszik a darabra és vákuum kemencében 800-1000°C-on kb. 1 óra alatt beégetik.

A fémpor NiCrBSi alapra épül. Gyakori összetétel az alábbi:

Króm	30 %-ig
Bór	0,9 – 4 %
Szilícium	0,6 – 4,25 %
Vas	0,2 – 4,75 %
Szén	0,1 - 1,00 %
Nikkel	44 - 68 %

Az anyagot minden acélfajtára fel lehet vinni. A próbatestet megcsiszolják, és a csiszolt felületen vizsgálják a keménységet és a bevonat szerkezetét. A fejlesztésnek az volt a nehézsége, hogy olyan zománcot találjunk, amelyiknek jó a nedvesítése, növeli a keménységet, alacsony pórustérfogat mellett. Az **1. képen** lévő alkatrészen igen jó volt a bevonat nedvesítése. A bevonat keménysége max. 770 HV.



1.kép:
Egy munkadarab kemény bevonata

7. Összefoglalás

A „Hardpaint eljárással” sikerült bonyolult munkadarabokat is bevonni. Speciális zománc kifejlesztésével, amelyik folyósítóként és reakciópartnerként hat a kemény fém számára, sikeresen lehetett bevezetni az új eljárást. A jövőben indukcióval, atmoszférában is lehetséges lesz a felvitel. Pozitív kísérleteket végeztünk és további projekten dolgozunk.