

SZAKÁLL SÁNDOR,

ÁSVÁNY- ÉS KÖZETTAN ALAPJAI

16



A Műszaki Földtudományi Alapszak tananyagainak kifejlesztése a
TÁMOP 4.1.2-08/1/A-2009-0033 pályázat keretében valósult meg.

XVI. MECHANIKAI TULAJDONSÁGOK

1. RUGALMASSÁG ÉS AZ ÁSVÁNYOK KÉPLÉKENY DEFORMÁCIÓJA

Minden kristályos anyag rugalmasnak tekinthető egy határig, amíg a deformáló feszültségek elég kicsik és a rugalmassági határ alatt maradnak.

A rugalmasságot a rugalmassági modulus számértékével szokták jellemezni, a kristályokban ez szerkezeti irányoktól függő érték.

Az olyan maradó alakváltozást, melynek során a kristályok folytonossági összefüggései megmaradnak (azaz nem keletkeznek diszkrét törések) képlékeny deformációnak nevezzük.

A képlékeny deformáció létrejöttében nagy jelentősége van a rácshibáknak, melyek főként ponthibák vagy vonalhibák lehetnek.

A **ponthibák** három fő típusa:

1. egyes atomok hiányoznak (vakancia);
2. felesleges atomok épülnek be;
3. a rácspontokban nem odaillő atomok vannak (helyettesítés).

A **vonlhibák (diszlokációk)** lehetnek eltolódási élek, ahol a kristályrác egy síkjának folytonossága megszakad, illetve elforgatási élek, ahol a kristály egy része egy ráctávolságnyra el van tolódva, ennél fogva a síkok elhajlanak.

A kristályok képlékenysége két elemi folyamatra vezethető vissza: kitüntetett kristályszerkezeti síkok menti eltolódásra (diszlokációs kúszás) és az atomok kisebb nyomás irányába történő diffúziójára a rácspan (diffúziós kúszás). A ponthibák diffúziós folyamatokra, a vonlhibák diszlokációs kúszásra adnak lehetőséget

A kristályok képlékenységének (plaszticitásának) nagy szerepe van a természetben és technikában. Képlékeny deformáció történhet a földkéregben olyan nyírási zónákban, ahol az irányított nyomáshoz megfelelően magas hőmérséklet és terheléses nyomás kapcsolódik. Ezek együttesen megakadályozzák az ásványok összetöredezését. A kő és a gipsz például ilyen körülmények között hajlítható, alakítható (jól megfigyelhető jelenség ez bizonyos sótelepekben). Vannak azonban olyan ásványok, melyek ilyen körülmények hatására sem mutatnak képlékenységet.



Redőzött gipszrétegek alsótelekesi gipsz-anhidrit külfejtésből

Ipari szempontból nagy jelentőségű egyes fémek képlékenysége, ezt kihasználva húzhatók dróttá, vagy hengerelhetők fóliává.

Diffúziós kúszás

Magas, a kristály olvadáspontját megközelítő hőmérséklet hatására a mozgékonyabbá váló atomok viszonylag könnyen átlépnek a rácson belül egy másik, szomszédos, üres pozícióba. Az atomok mozgása a legkisebb nyomás felé irányul, a rácshibák ezzel ellentétesen mozdulnak el vagy a szemcsehatárok mentén, vagy a kristályrácson keresztül. A diffúzió egyes kristályok között is végbemehet, ezt a víz jelenléte és az ásvány anyagának vízben való oldhatósága segítheti elő már alacsony hőmérsékleten is (kalcit és kvarc esetében jellemző).

Diszlokációs kúszás

A különböző irányokban érvényesülő feszültségek közötti különbségek hatására következhet be ez az alakváltozás, melynek során meghatározott síkok mentén a rácsrészek egymáshoz képest párhuzamosan elmozdulnak. Az elsiklatott rácsrész atomjai sokszor vonalhibák mentén más helyre kerülnek, de környezetük változatlan marad. A hasadással és töréssel ellentétben tehát az elmozduló rácsrészek mechanikai elválása (a kristály darabokra szétesése) nem történik meg. Természetesen a transláció síkját és irányát a kristályrác felépítése szabja meg. Minél magasabb fokú egy kristály szimmetriája, annál több sík mentén lehetséges diszlokációs kúszás kialakulása. A rétegrácsos felépítésű kristályok translációja döntően a kisebb kohéziót mutató rétegek síkjában következik be: például antimonit, grafit, molibdenit, vivianit és csillámok esetén. A translációra hajlamos kristályok a transláció síkjában gyakran meg is görbülhetnek. A kőso diszlokációs kúszása nagy szerepet játszik a sótelepek felgyűrdéseiben (ún. diapír szerkezet).



Meggöbült antimonit kristály

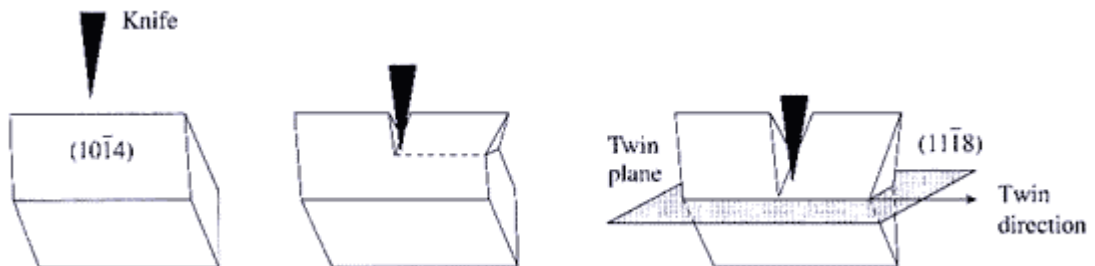


Meghajlott vivianit kristály

Mivel több, egymással párhuzamos translációs síkkal rendelkeznek, legkiválóbban a legtömöttebb, köbös rácsú fémek kristályai siklathatók, éppen ezen alapul kiváló nyújthatóságuk: természet, természet, természet. Kevésbé munkálható meg, más szóval kisebb képlékenységet mutatnak a legtömöttebb hexagonális rácsú fémek, mivel ezeknek csak egy translációs síkjuk van a (0001) bázislap irányában. Hasonlóan kevésbé munkálható meg a térben centrált, köbös rácsú fémek (például a vas). Ez utóbbi csak kellő felmelegítés után munkálható meg kiválóan, mert ennek hatására a szerkezet átrendeződik a legtömöttebb minden lapon centrált köbös rácsúra.

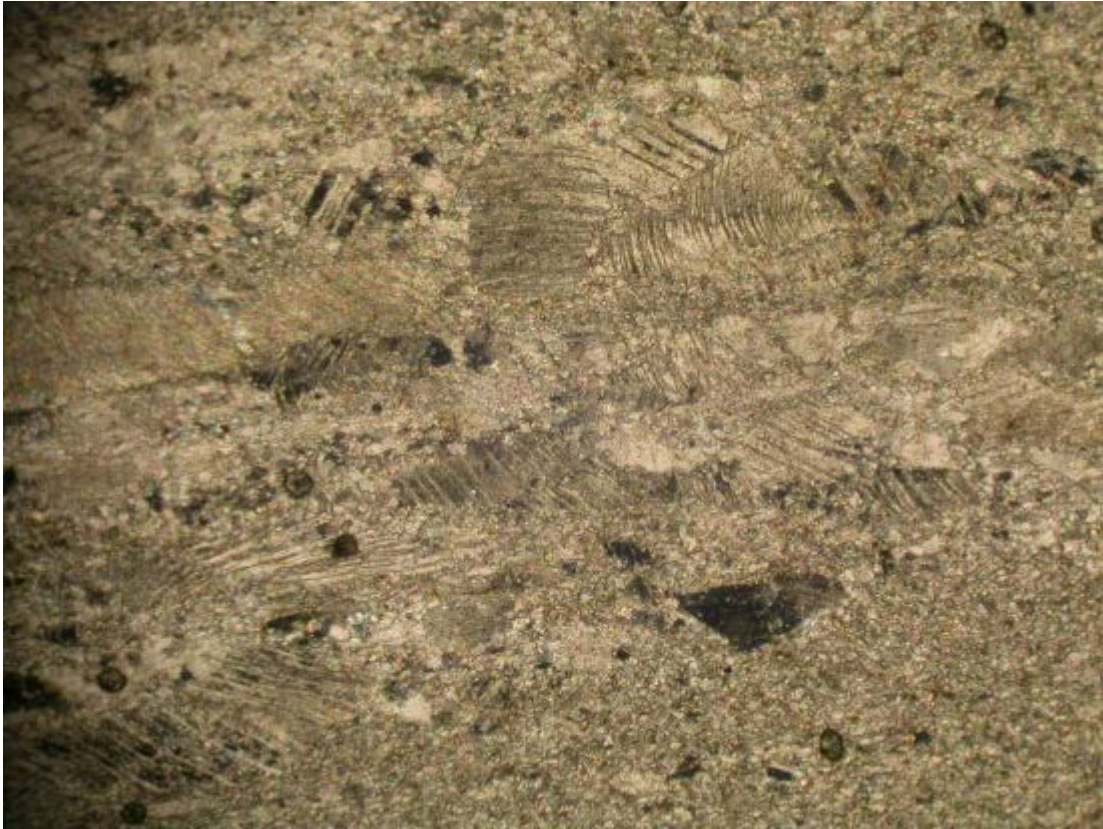
Mechanikai ikerképződés

Az előbbiekhöz hasonlóan mechanikai behatásra következik be. Legismertebb példa a kalcit ikersiklatása. Ha a kalcit hasadási romboéderének tompa élére késpengével gyenge nyomást gyakorolunk, a kristály egy része törés nélkül ikerhelyzetbe ugrik.



Kalcit ikersiklatása (elvi rajz)

A siklatás ebben az esetben bizonyos kristályrács-síkokhoz viszonyítva szimmetrikusan történik, tehát ikerkristály, mégpedig a jelenség előidézése miatt nyomási iker keletkezik. Nyomási ikerkristályok esetén gyakori a finom lemezes poliszintetikus ikerképződés. Nagy nyomáson átkristályosított mészkőben és márványban a kalcit poliszintetikus ikerlemezek tömegéből áll.



Meghajlott ikerlemezes kalcitkristályok. Ásványtani mikroszkópos felvétel (vékonycsiszolat, keresztezett nikolok)

2. HASADÁS

A hasadás a kristályos anyagok egyik fontos jellegzetessége, könnyen megfigyelhető sajátosság. Hasadásról beszélünk, ha erős mechanikai behatásra (ütés, nyomás) a kristály meghatározott irányban, síklapok mentén különböző részekre válik szét. A hasadás annak következménye, hogy a kristályrácsban az összetartó erők irányok szerint változóak. A hasadás a legkisebb összetartó erő irányára merőleges. A hasadás iránya tehát szerkezetiileg egyértelműen meghatározott.

A hasadáskor keletkező sík felület a hasadási lap, mely tömegpontokkal sűrűn terhelt és mindig egyszerű formákkal párhuzamos lap. Ebből következik, hogy csak kristályos anyag hasadhat, azonban szerkezeti okok miatt nem minden kristály hasad. Már Bravais kifejtette, hogy a tömegpontokkal legsűrűbben terhelt és egymástól viszonylag nagyobb távolságban lévő rácscsukok (kristálylapok) jöhetnek csak számításba, mint hasadási lapok.

A szerkezeti meghatározottság miatt a hasonló szerkezetű (izostrukturális) kristályok hasonló módon hasadnak: kősó és szerkezeti rokonai (például a galenit) a kocka lapjai szerint.



Kősó kocka szerinti hasadása



Galenit kocka szerinti hasadása

Ezzel szemben a kalcittal szerkezeti rokonságban lévő ásványok a romboéder lapjai szerint hasadnak.



Kalcit romboéder szerinti hasadása

A rétegszerkezetű kristályoknál a rétegeken belül kovalens kötés hat, míg a rétegek között gyenge van der Waals kölcsönhatás, így ezek a rétegekkel párhuzamosan, egy irányban – a véglapokkal párhuzamosan – kitűnően hasadnak: grafit, molibdenit, csillámok. Az ilyen módon hasadó ásványokból vékony lemezeket, pikkelyeket tudunk kihasítani.

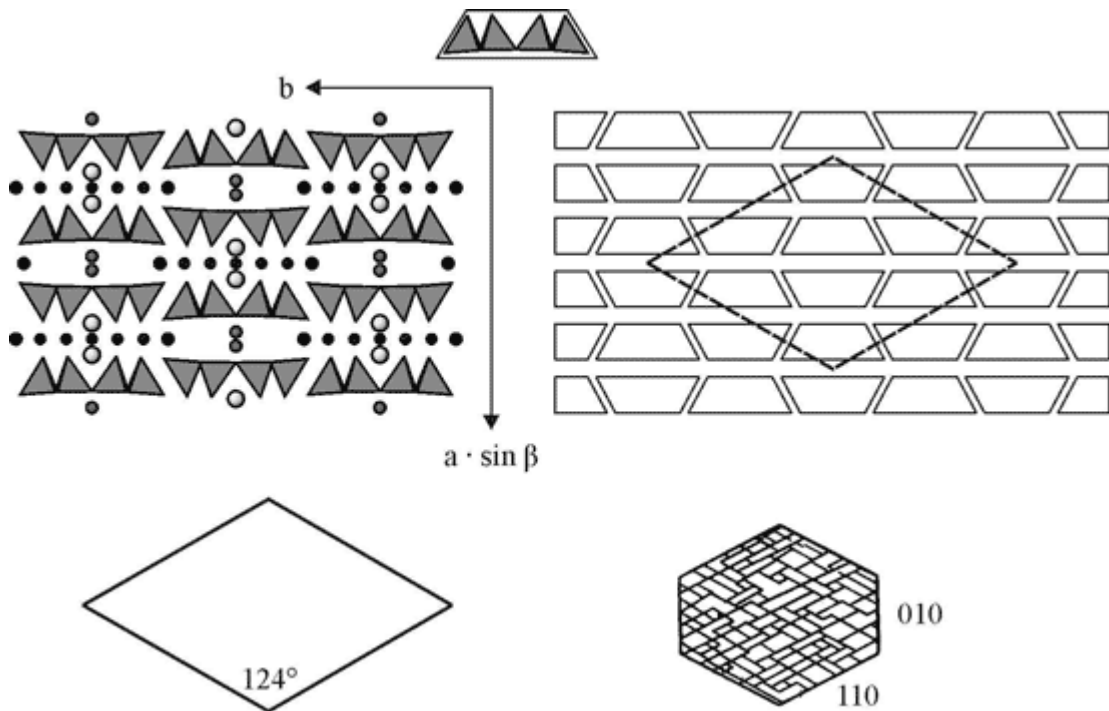


Flogopit véglap szerinti hasadása

A láncszerkezetű kristályokat két irányú jó hasadás jellemzi, mert az ionos kötés a térnek két irányába hat. A piroxéneknél a c-tengellyel párhuzamosan futó hasadási irányok 87°-os szöget zárnak be egymással, míg az amfiboloknál a hasadási irányok által bezárt szög értéke 124°. Ennek alapján ez a két fontos kőzetalkotó ásványcsoport a hasadásuk alapján megkülönböztethető egymástól. Ezek a hasadási síkok a prizma formával párhuzamosak. Az így hasadó ásványokból ezért rostos, tűs vagy szálas halmazokat tudunk előállítani.



Amfibol prizma szerinti hasadása



Az amfibol hasadásának szerkezeti oka

A gyémánt és a fluorit az oktaéder szerint nyolc irányban, a szfalerit a rombdodekaéder szerint 12 irányban, míg a kőszó és a galenit (mint fentebb említettük) a kocka szerint hat irányban mutat hasadást.



Fluorit oktaéder szerinti hasadása

A hasadás irányát a megfelelő Miller-indexszel is jelezhetjük: például az oktaédes (111), a hexaédes (100) szerinti hasadást jelent. (A gyémánt hasadásának ismerete a drágakő-csiszolóiparban nagy jelentőségű, hiszen így lehet a legkisebb anyagvesztés nélkül szétarabolni.)

A fentebb említett hasadási síkok által határolt hasadási testek igen jellemzőek egyes ásványokra. Így lehet kocka, oktaéder, tű, prizma alakú és lemezes hasadási idomokat kapni.

Fontos azonban megjegyezni, hogy a szabad szemmel megfigyelhető hasadási sajátságok erősen függenek a kristályok szemcseméretétől. Egy jól fejlett gipszkristály a (010) lappal párhuzamosan kitűnően hasad, belőle vékony lemezeket könnyedén kihalásztunk.



Gipsz véglap szerinti hasadása

Ha viszont tús gipszkristályok közel párhuzamos összenövését vizsgáljuk, azokból csak párhuzamos rostos halmazokat tudunk hasítani.



Gipsz rostos halmazokat eredményező hasadása

A finom szemcsés gipsz (alabástrom változat) viszont egyáltalán nem mutat hasadási jelenséget (pontosabban a piciny kristallitok igen, de nem látjuk szabad szemmel).



Finom szemcsés gipsz (alabástrom) hasadást nem mutató halmaza

A hasadás tanulmányozásában azonban nemcsak a hasadási lap iránya, a hasadási testek formája, hanem a hasadási sík felületének minősége is fontos lehet számunkra.

Ilyen módon megkülönböztetjük az alábbi kategóriákat (zárójelben néhány jellemző példa látható):

1. **kiváló a hasadás:** kifogástalan, jól tükröző hasadási lapok jellemzik (csillámok, galenit, gipsz, fluorit, gyémánt, kalcit, szfalerit)
2. **jó a hasadás:** gyengébben tükrözők a hasadási lapok (piroxének, amfibolok, földpátok).
3. **rossz a hasadás vagy nem hasad** az ásvány: ha hasadási síkot nem lehet észlelni, csak egyenetlen felületet (gránátok, spinellek, kvarc, terméskén, turmalinok).



Szفالerit kitűnő hasadása



Amfibol jó hasadása



Termésékén rossz hasadása

Érdeemes említést tenni az **elválás** jelenségéről. Bizonyos rosszul hasadó ásványok mutathatnak többé-kevésbé sík lapokkal jellemezhető elválási felületeket, de ezek nem a kristályszerkezettel, hanem más okokkal (ikerösszenövések síkjai, zárványokkal teli síkok stb.) magyarázhatók (például korund, berill).

3. TÖRÉS

Ha mechanikai behatásra kristálytani irányoktól függetlenül, nem sík felületek mentén válik különálló részekre a kristály. Ennek a jelenségnek is szerkezeti okai vannak, ebben az esetben a kristályban ható kötőerők minden irányban közel azonosak, ezért nem állhat elő hasadás.

Ebből adódik, hogy minél jobban hasad egy ásvány, annál nehezebb rajta törési felületet megfigyelni. Ezzel szemben minél könnyebb törési felületet nyerni, annál inkább bizonyos, hogy az ásvány rosszul vagy egyáltalán nem hasad. Fontos megjegyezni, hogy a finom szemcseméretű polikristályos aggregátumok, – függetlenül attól, hogy jól hasadó ásványok építik föl – éppen a kristallitok kis mérete miatt nem mutatnak makroszkóposan megfigyelhető hasadási jelenséget.

A törési felületet minősége szerint az alábbi módon jellemezzük (zárójelben néhány jellemző példa látható):

1. **Kagylós:** a kagyló héjához hasonló bemélyedések jellemzik (opál, allofán).
2. **Egyenetlen:** teljesen szabálytalan felületet láthatunk (gránátok, pirit, kvarc).
3. **Egyenes:** viszonylag sima felület (mikrokristályos kvarc).
4. **Horgas:** horogszerű képződmények állnak ki rajta (termésvémek).
5. **Földes:** porszerű, morzsalékos felület jellemzi (bauxit- és agyagásványok). Ennél meg kell jegyezzük, hogy ez mindig finom szemcseméretű, polikristályos anyagokra jellemző.



Opál kagylós törési felülete



Mikrokristályos kvarc egyenes törési felülete



Finom szemcsés böhmit halmaz földes törési felülete

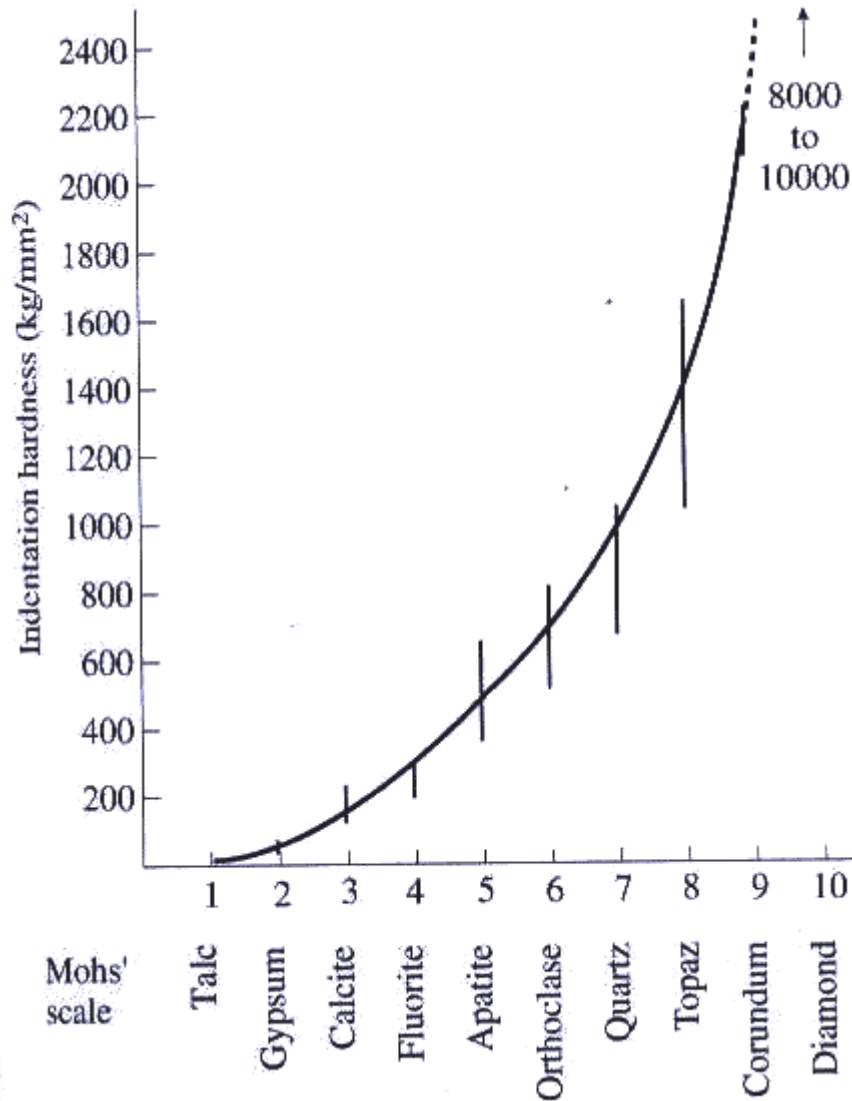
4. KEMÉNYSÉG

Az anyag azon ellenállóképessége, melyet mechanikai behatásokkal (például karcolás, fúrás, nyomás) szemben kifejt. A keménység alapvetően a kristályszerkezettől függ, ezért irányfüggő vektoriális sajátosság.

Egyes ásványokra jellemző, de a technika szempontjából is fontos tulajdonság. A keménység meghatározása legegyszerűbben karcolással, sokkal pontosabban pedig csiszolással és fúrással történhet. Az ásványok esetén a relatív értéket adó karcolási keménység könnyen megállapítható, a meghatározáshoz jól felhasználható. Ebből a célból Friedrich Mohs német mineralógus állított össze 1812-ben 10 ásványból álló keménységi sort. Ez a **Mohs-féle karcolási keménységi skála**.

Sorszám	Ásvány neve
1.	Talk
2.	Gipsz
3.	Kalcit
4.	Fluorit
5.	Apatit
6.	Ortoklász
7.	Kvarc
8.	Topáz
9.	Korund
10.	Gyémánt

Fontos tudni, hogy a Mohs-féle keménységi skála tagjai között nem egyenletesen emelkedik a keménység értéke, más szóval ez egy *relatív keménységi skála*. Jól látható ez, ha összevetjük egy abszolút értékeket mutató keménységi skálával.



A relatív keménységet adó Mohs-féle skála összevetve egy abszolút keménységi skálával

De éppen könnyű alkalmazhatósága miatt – akár egy-két mindig kéznél lévő eszközzel – terepen is könnyen megállapítható a hozzávetőleges Mohs-féle keménysége egy ásványnak.

Anyag	Keménység
Köröm	1-2
Rézhegyű toll	3-4
Zsebkés éle vagy üveglap	5-6
Kvarc	7

A karcolási keménység megállapításához néhány hasznos tanács:

1. Lehetőség szerint az ásvány friss felületén érdemes vizsgálni.
2. A karcolás során akkor is keletkezik por, ha a kérdéses ásvány keményebb, mint a standard, de akkor nincs alatta karcolási nyom. Ezt érdemes ellenőrizni kézinagyítóval.

3. Porszerű, laza (szemcsés vagy szálas) ásványok keménysége nem állapítható meg ilyen módon, mert azok a szemcsék vagy szálas mentén könnyen szétválnak, és így nem kapunk értékelhető eredményt.
4. Ha hasonló keménységű a vizsgálandó és a standard ásvány, akkor kölcsönösen karcolják egymást.

Mivel a keménység, mint fentebb említettük, vektoriális sajátosság, ezért értéke függ az iránytól (néhány ásvány kivételével a különböző irányokban azonban csak kis eltérések vannak, ezért ez a jelenség nehezen demonstrálható). A tapasztalatok szerint leginkább a kitűnően és jól hasadó ásványoknál figyelhető meg. Mindig a hasadási lapon a legkisebb a keménység, és erre merőlegesen a legnagyobb. Legjobb példa a keménység anizotrópiájára a kianit, mely a hasadási lapon 4,5-ös, míg erre merőlegesen 7-es keménységű.

A keménység és a kristályszerkezet kapcsolata

Erre a legjobb példát a szén két módosulata (grafit, gyémánt) mutatja. A keménység az atomok, ionok távolságával fordítottan arányos: a gyémántnál a szénatomok 1,54Å távolságra vannak egymástól, míg a grafit rétegei között 3,40Å távolságra. Nagyobb méretű atomok, ionok eleve távolabb vannak egymástól a kristályrácsban, így ezeknél a keménység kisebb lesz. Ionrácsoknál hasonló a helyzet, az ionrádiusz nagysága hasonlóan módosítja a keménységet.

A keménységnél meghatározóak a kristályrácsban lévő kémiai kötések, egyértelmű, hogy az erős kovalens és ionos kötések nagyobb keménységet eredményeznek. A gyenge van der Waals kötést tartalmazó ásványok keménysége kicsi, ilyenek például a molekulárcsú anyagok. Alacsony a víztartalmú ásványok keménysége is, hiszen a vízmolekulák gyenge hidrogén-kötéssel kapcsolódnak össze.

A terméselemek közül a fémcsúak kis vagy közepes keménységűek, mert egy vagy több translációs síkjuk van. A nemfémcsúak közül a molekulárcsúak (természkén) és a rétegrácsúak (grafit) különösen puhák. Közülük viszont a rendkívül erős kovalens kötésnek köszönhetően a gyémánt az egyik legkeményebb anyag.

A szulfidok általában kis keménységűek, mert az anion rádiusza nagy, és viszonylag nagyok a kationok rádiuszai is. Közöttük csak az ún. kovandok (Fe-Co-Ni-)szulfidok keményebbek, mert ezeknek a fémeknek kicsi az ionrádiusza. A legpuhábbak közé – a fentebb említett okok miatt – a rétegrácsos (molibdenit) és molekulárcsú (auripigment) szulfidok tartoznak.

A halogenidok kis vagy közepes keménységűek, mert a halogén anionok ionrádiusza nagy.

Az oxidok általában keményebbek, mint a szulfidok, mert az oxigén ionrádiusza kisebb, mint a kéné, és emiatt tömöttebbek a rácsaik. Közöttük is legkeményebbek a kis méretű kationokat (Al, Be) tartalmazó oxidok. Puhák viszont a hidroxidok és oxihidroxidok, mert az (OH)- anion gyenge hidrogénkötéssel szerepel a szerkezetben.

Az összetett anionokat tartalmazó ásványok keménysége alapvetően az anionok nagyságától és a vegyértékétől függ. A szilikátok keménysége 1-től 8-ig terjedhet. Ebben az esetben nem a SiO₄-tetraéderekben lévő kötéserősség a mérvadó, hanem a szerkezetben jelenlévő egyéb kötések, illetve a kristályrács tömöntsége határozzák meg a keménységet. Itt is igaz, hogy a tömött rácsú és kis kationokat tartalmazó szilikátok a legkeményebbek (főként a neozsilikátok). Ezzel szemben kis keménységűek a víztartalmú, laza szerkezetű zeolitok, illetve a rétegrácsos filloszilikátok.

A szerves ásványok molekulárcsúak, ezért tehát lágyak.

A drágakövek között kifejezetten nagy keménységű ásványok vannak (drágakőnél az ellenállóság az egyik fontos kritérium). Ezek zömmel oxidok és szilikátok. A rendkívül nagy keménységű ásványok nem drágakőminőségű példányait (ez a túlnyomó többség) az ipar (csiszoló-, vágó-, fűrőipar) hasznosítja.

5. FELADATOK

Megoldások:	láthatók	nem láthatók
-------------	----------	--------------

1. Hogyan változnak a fizikai tulajdonságok a kis szimmetriájú, a főtengelyes és a köbös kristályrendszerben?

Megoldás: a kis szimmetriájú rendszerekben három irányban, míg a főtengelyes rendszerekben két irányban mutatnak különböző értékeket, tehát iránytól függőek, anizotrópok. Ezzel szemben a köbös rendszerben mindhárom irányban hasonló értéket mutatnak, iránytól függetlenek, tehát izotrópok.

2. Mitől függ az ásványok sűrűsége?

Megoldás: a kémiai komponensek tömegétől és a kristályszerkezet tömötségétől.

3. Polimorf ásványoknál melyek sűrűsége nagyobb?

Megoldás: a tömöttebb rácsfelépítésű ásványoké, melyek nagyobb nyomásviszonyok között stabilisak.

4. Melyek a legnagyobb sűrűségű ásványok?

Megoldás: a termésvémek és a magas fémtartalmú szulfidok, például a termésvarany, termésvlatina, termésvréz.

5. Mit nevezünk képlékeny deformációnak és mi határozza meg?

Megoldás: az a maradandó alakváltozás, melynek során a kristályok folytonossága megmarad. Rácshibák, ponthibák és vonalhibák jelenléte nagyban elősegíti létrejöttét.

6. Mit nevezünk hasadásnak, és mi játszik szerepet létrejöttében?

Megoldás: ha mechanikai behatásra a kristály síklapokkal határolt darabokra esik szét. Létrejöttében szerkezeti okok játszanak főszerepet, hasadás a legkisebb összetartó erő irányára merőleges. A hasadás tehát irányfüggő sajátság.

7. Soroljon fel példákat a hasadás irányfüggésére!

Megoldás: a kőso-típusú ráccsal rendelkező ásványok hat irányban a kocka szerint, a kalcit és rokonsága hat irányban de a romboéder szerint, a rétegszerkezetű ásványok egy irányban a bázis szerint, a láncszerkezetű ásványok két irányban a prizma szerint hasadnak.

8. A hasadási lap minősége szerint milyen típusait különböztetjük meg a hasadásnak, soroljon föl néhány példát?

Megoldás: kitűnő, ha a hasadási lap minősége kifogástalan sík (csillámok, gipsz, kalcit); közepes, ha a hasadási lap gyengébben fénylő (amfibolok, piroxének, barit); rossz, ha nem észlelhető hasadási sík (gránátok, kvarc, turmalinok).

9. Mit nevezünk az ásványok törésének?

Megoldás: ha mechanikai behatásra iránytól függetlenül úgy esik darabokra, hogy nem figyelhetünk meg rajta sík felületeket. Ennek szerkezeti oka, hogy a kristályban ható kötőerők minden irányban hasonlóak.

10. Soroljon föl példákkal néhány jellegzetes törési típust!

Megoldás: a legáltalánosabb az egyenetlen törési felület (pirit, kalkopirit, gránátok). A rövid távon rendezett szerkezetű ásványok (opál, allofán) gyakran kagylós törési felületet, míg a földes megjelenésű ásványok (agyagásványok, bauxitásványok) földes törési felületet mutatnak.

11. Mit nevezünk az ásványok keménységének?

Megoldás: az ásványok ellenállóképessége, amit mechanikai behatásokkal (karcolás, fúrás, csiszolás) szemben kifejti. A keménység szerkezeti meghatározottságú, alapvetően a kémiai kötésektől függ, ezért irányfüggő sajátság.

12. Mit nevezünk Mohs-féle karcolási keménységi skálának, sorolja föl a tagjait!

Megoldás: ez egy relatív keménységi skála, mely tíz ásványból áll (a nagyobb keménységű megkarcolja a kisebb keménységű tagot). A skála tagjai a legpuhábbtól a legkeményebbig: talk, gipsz, kalcit, fluorit, apatit, ortoklász, kvarc, topáz, korund és gyémánt.