MISKOLCI EGYETEM
ANYAG- ÉS KOHÓMÉRNÖKI KAR
FÉMTANI TANSZÉK

GYAKORLATI ÚTMUTATÓ

PHARE HU 9705-0201-0006

Készítette: Kozsely Gábor
Lektorálta: Dr Mertinger Valéria

Acél ausztenitjének izotermás átalakulásai

1. A gyakorlat célja

A gyakorlat keretén belül a hallgatók megismerkednek az acélokban lezajló átalakulási folyamatok közül a perlites, bainites és martenzites átalakulásokkal, valamint az átalakulási folyamatok nyomon követésére szolgáló vizsgálati módszerekkel (mikroszkópos mérés, dilatométeres vizsgálat) és a vizsgálatokból megszerezhető eredmények értékelésével, szövetelem diagram szerkesztésével illetve átalakulási diagram szerkesztésével.

2. Ajánlás

A gyakorlat a negyedéves anyagmérnök és harmadéves kohómérnök hallgatók számára Fémtan III. c. tárgy keretén belül kerül elvégzésre, valamint a II. évfolyamos BSC hallgatók Fémtan I. c. tárgy keretén belül kerül elvégzésre A gyakorlat elvégzéséhez feltétlenül szükséges a vas-karbon diagram ismerete, a mikroszkópok használatának ismerete.

3. Elméleti alapok

Ha az acélokat ausztenites állapotból A_1 hőmérséklet alá hűtjük, azok ausztenitje elveszti termodinamikai stabilitását, és olyan átalakulásokon megy át, melynek során a rendszer kisebb energiájú állapotba jut. Az acélok A_1 hőmérséklet alatt –ha a gyakorlatnak megfelelően a metastabilis rendszeren belül maradunk, s eltekintünk a valójában kisebb energia tartalmú, de reakciókinetikai okok miatt az acélokban csak nagyon ritkán megvalósuló α+grafitot tartalmazó stabilis állapottól- $\alpha+Fe_3C$ fázisokat tartalmazva vannak egyensúlyban. Az ausztenit átalakulása stabil fázisokká az összetételtől és a hőmérséklettől függően egymástól eléggé eltérő mechanizmusokkal, különböző szövetelemeket létrehozva mehet végbe. Az átalakulásokat két, egyidejűleg lefolyó jelenség kíséri:

1. A felületen középpontos ausztenit (γ-vas) térben középpontos ferritté (α-vas) alakul. Ez a termodinamikai hajtóerő.

2. Az átalakulást diffúzió kíséri, és ennek mértéke határozza meg az átalakult termék milyenségét és mennyiségét. Az ausztenit karbonoldó képessége sokkal nagyobb, mint az α-vasé. Ebből következik, hogy az ausztenitben oldott karbonatomok nagy részének el kell távoznia a ferritté alakuló kristályrácsból.

Az átalakulások a martenzit kivételével csiraképződéses, és diffúzió szabályozta csíranövekedéses folyamattal zajlanak le. Az összetételtől és a hőmérséklettől függően, mivel más a túlhűléssel arányos termodinamikai hajtóerő és más a diffúzió sebessége, ugyanaz az ausztenit másképpen alakulhat át.

Ennek megfelelően az acélokban tehát a következő átalakulások mehetnek végbe: perlites (eutektoidos), bainites és martenzites.

Perlites átalakulás:

A két későbbiekben tárgyalandó átalakulástól eltérően eutektoidos átalakulás egyensúlyi körülmények között is végbemehet, hiszen az $Fe-Fe_3C$ diagram szerint a PSK vonalak megfelelő hőmérsékleten a közelítőleg 0,8% karbont tartalmazó ausztenitből, ferritből és cementitből álló lemezes szerkezetű szövetelem, perlit képződik. A perlit azonban nemcsak egyensúlyi körülmények között keletkezhet. Az eutektoidos összetételű ausztenit A_1 és kb. 550°C között perlitesen alakul át.

A perlit keletkezése diffúzióval végbemenő heterogén átalakulás, a csíra minden esetben az ausztenit szemcsehatárai mentén jelenik meg. Általában feltételezik, hogy a cementit csírája jelenik meg először, bár más elképzelések is ismertek. Ha a csíra mérete és a hőmérséklet a cementitkristály stabilitásának feltételeit kielégíti, a csíra növekszik oly módon, hogy az ausztenitből megfelelő mennyiségű karbon diffundál a cementitlemezke felé. A cementitkristály növekedése azzal a következménnyel jár, hogy környezetében az ausztenit karbonban elszegényedik. Ekkor a cementitkristály mellett ferritkristály, ferritlemezke képződik, mert a 0,8% C-tartalomnál kisebb karbontartalmú ausztenit stabilitásának alsó hőmérséklete az A_1 hőmérséklet. A továbbiakban a ferritkristály is, a cementitkristály is növekszik. A ferritkristály növekedése a karbontartalom felszaporodásához vezet az ausztenitben, és így a ferrit mellett ismét kialakulnak a cementit képződésének, stabilitásának feltételei. A perlit két fázisa tehát nem egymástól függetlenül nő. Ezért alkot a perlit csomókat, kolóniákat. A csomók térben közelítőleg gömb formájúak, mert a csomó a tér mindhárom irányában növekedésre képes.

Az új perlitcsomók képződése lassú lehűlés közben mindaddig folytatódik, amíg az ausztenit szemcsehatárai mentén a csíraképződésre alkalmas helyek ki nem merülnek, az egyes kolóniák növekedése pedig addig tart, amíg egymás növekedését nem akadályozzák. Mivel egy-egy ausztenitszemcsén belül több perlitkolónia is képződhet, a perlitkolóniák, -csomók mérete általában kisebb, mint az ausztenit szemcsemérete volt.

A perlitet alkotó két fázis, a cementit és a ferrit lemeztávolsága egy-egy mintán belül alig változik. A szövetképen az egyes kolóniák eltérőnek látszó lemeztávolsága azzal magyarázható, hogy a lemezes szerkezetet a csiszolat síkja más és más szög alatt metszi. Egy 700°C-on képződött perlit átlagos lemeztávolsága 0,7 μm, 600°C-on képződött perlitre ugyanez az adat 0,15 μm.

Erősen ötvözött acélokban a perlit megjelenési formája is megváltozhat. Kialakulhat Olyan perlit is, amelyben a perlitet alkotó lemezkék nem párhuzamosak, hanem sugárszerűen széttartanak. Mo-tartalmú acélokban pedig szálas eutektoid alakulhat ki, amelyben a cementit helyett Mo_2C van jelen.

Proeutektoidos szövetelem képződése:

Az ausztenit átalakulása –amennyiben karbontartalma nem felel meg az eutektoidos karbontartalomnak- ferrit vagy cementit megjelenésével kezdődik el. hasonlóképpen az eutektoidos átalakuláshoz, ezek a folyamatok is lejátszódhatnak egyensúlyi körülmények között is. Az egyensúlyi körülmények között és a többé-kevésbé gyors lehűlés közben végbemenő átalakulás között csak a folyamat végeredményét tekintve van különbség. A proeutektoidos szövetelemek (ferrit, cementit) megjelenése heterogén csíraképződéssel induló folyamat.

Hipoeutektoidos ötvözetekben a ferritkristály határa előtt az ausztenit karbonban feldúsul, a diffúzió azonban a karbonatomok gyors elszállításával lehetővé teszi az átalakulás folytatódását. A proeutektoidos ferrit krisztallitjai és az átalakuló ausztenit krisztallitjai között

nincs meghatározott kristálytani kapcsolat. A hipereutektoidos acélokban a szekunder cementit és az ausztenit közötti esetleges orientációs kapcsolat nem tisztázott.

Bainites átalakulás:

A túlhűlés mértékének növelésével az ausztenitnek ferritté való átalakulási hajlama nő, mivel a hőmérséklet jelentős mértékben A_1 alatt van, viszont t a karbon diffúziója lelassul. Ilyenkor a perlites mechanizmus már nem mehet végbe, hanem azt felváltja a bainites. A bainitre, mint szövetelemre az a jellemző, hogy ferritből és általában vaskarbidból áll.

A bainites átalakulásoknál klasszikus értelemben felső- és alsó bainitet különböztetünk meg. Ezek az átalakulások a közepes karbontartalmú acélokra jellemzőek. Ugyanakkor a kis karbontartalmú acéloknál létezik az ún. szemcsés bainit, amely részben hasonlít gömbgrafitos öntöttvasak bainites átalakulási termékére.

A felső bainit: A hipoeutektoidos acélban az ausztenit felső bainitté való átalakulása a ferrit léceinek, tűinek megjelenésével kezdődik el. Általában nem egyetlen ferrittű indul növekedésnek, hanem ezek egy csoportja, így a szövetben ferrittű kötegek jelennek meg. Mivel a ferrit karbonoldó képessége még az átalakulás hőmérsékletén is csekély, a ferrit és ausztenit határfelülete mentén az ausztenit karbonban túltelítetté válik, és ebből a dúsult ausztenitből a karbon cementit formájában folyamatosan kiválik. A felső bainit tehát ferrittűk (lécek) és cementit korongocskák alkotják. A cementit általában párhuzamosan helyezkedik el a ferrit növekedésének irányával. A cementitlemezkék közötti távolságot a ferrittűk közötti távolság szabja meg. Ez a távolság a felső bainitre nézve nagyobb, mint a perlitre jellemző lemeztávolság.

A bainit növekedése a martenzites átalakulás sebességéhez viszonyítva lassú. A felső bainit növekedési sebességét a karbonnak az ausztenitre érvényes diffúziós sebessége határozza meg, de a kísérletileg mérhető növekedési sebesség kisebb, mint amit a diffúziós mechanizmus alapján számítani lehet.

Alsó bainit: Az alacsonyabb hőmérséklet következtében az $\gamma \rightarrow \alpha$ átalakulási kényszer még erősebb és karbon diffúziója még lassúbb mint a felső bainit esetében. Ennél az átalakulásnál is ferrittű indul növekedésnek, de a karbon már nem tud az ausztenitben elég gyorsan diffundálni, bennreked a ferritben. A karbonnal túltelített ferritből ε-karbid válik ki, ezáltal szabályozva annak növekedését. Így a ferritcsirák növekedését a karbonnak a ferit fázisban történő diffúziója határozza meg.

Szemcsés bainit: Képződése hasonlít a felső bainitéhez. Ebben az esetben viszont a bainites ferrit keletkezése mellett nincs elég karbon a karbidképződéshez, így nem válik ki karbid az ausztenitből. A megnövekedett karbon- tartalmú ausztenit a további hűléskor martenzitté alakul át. A ferrittűk között tehát martenzit+maradék ausztenit szigeteket lehet találni.

Gömbgrafitos öntöttvasak bainitje: a felső bainit ferritje mellett a grafitképző szilícium hatására nem válik ki karbid, hanem kedvező esetben az ausztenit annyira stabilizálódik, hogy a további hűlés hatására sem alakul át, a szövetben ferrit+ausztenit lesz található.

Martenzites átalakulás:

Martenzites átalakulása nemcsak az acélok ausztenitjének van. Martenzitnek általában a diffúzió nélkül, rácsbillenéssel lezajló átalakulási folyamatok termékét szokás nevezni.
További jellegzetessége a martenzitnek, hogy az átalakuló fázis és a martenzit között meghatározott kristálytani kapcsolat van, és az átalakulás az átalakulásban részt vevő atomok együttes, kooperatív mozgásával folyik le. Ez a kooperatív mozgás végeredményben

alakváltozás jellegű folyamat. Az alakváltozás jelleg főleg akkor szembetűnő, ha a martenzit metszi a felületet, mert ilyen esetben felületi rajzolat (relief) jelenik meg.

Ausztenit martenzitesen csak akkor alakulhat át, ha a hűtés olyan gyors, hogy nincs lehetőség az ausztenit diffúziós folyamatok által irányított bainites, vagy eutektoidos átalakulására. Azt a hőmérsékletet, amelyen a martenzit képződése megindul, M_s hőmérsékletnek nevezzük, M_f hőmérséklettel jelöljük az átalakulás befejező hőmérsékletét.
Az ötvözetlen acélok M_s hőmérséklete 500 és 200 ^oC között van, a saválló Cr-Ni acéloké pedig szobahőmérséklet alatt. A martenzites átalakulás egyik leglényegesebb vonása az, hogy a képződött martenzit mennyisége csak attól a hőmérséklettől függ, amelyre az acélt lehűtöttük, de független az átalakulás hőmérsékletén eltöltött időtől. Néhány erősen ötvözött acélban azonban izotermikus körülmények között is módosulhat a martenzit mennyisége.

A martenzit igen kemény szövetelem. Nagy keménysége, szilárdsága azzal magyarázható, hogy a martenzit karbonban erősen túltelített, és így a ferrit rácsa erősen torzul, valamint azzal, hogy a martenzit igen kis szemcseméretű és ezen túlmenően még nagy diszlokációsűrűségű is. A szubsztitúciós elemek is okoznak bizonyos mértékű rácstorzulást és így szilárság növekedést, de az ilyen elemek hatása még erősen ötvözött acélokban is lényegesen kisebb, mint az előbb említett két tényezőé.

A felületen középpontos rácsú ausztenitből térben középpontos rácsú, tetragonális rácsú illetve szoros illeszkedésű, hexagonális rácsú martenzit keletkezhet.

A közepes, vagy nagy karbontartalmú acélokban térben középpontos, tetragonális rácsú martenzit keletkezik, mert a karbonatomok a ferrit rácsában rendelkezésükre álló három oktaéderes intersztíciós hely közül csak egyet foglalnak el. A kis karbontartalmú acélokban képződő martenzit rácsa nem, vagy csak kevéssé torzult, mert a karbonatomok már edzés közben szegregálódhatnak a diszlokációkon. Néhány erősen ötvözött acélban szoros illeszkedésű, hexagonális rácsú is keletkezhet, például a 15%-nál nagyobb Mn-tartalmú Fe-Mn ötvözetekben.

Mivel a martenzites átalakulás térfogat növekedéssel jár, a martenzit által körülhatárolt ausztenitben nyomófeszültségek ébrednek. A nyomófeszültség hatása alatt lévő martenzitben az átalakulás nehezebben zajlik le, sőt az átalakulás el is maradhat. A martenzites átalakulás során visszamaradó ausztenitet maradék ausztenitnek nevezzük.

Izotermás átalakulás vizsgálata

Az ipari gyakorlatban az acéltermékek szekunder szövete az esetek túlnyomó többségében ausztenitjüknek folyamatos hűtése közben történő átalakulásával jön ugyan létre, de van olyan hőkezelés is, (ausztemperálás), amikor az átalakítást állandó hőmérsékleten valósítják meg. Az izotermásan történő átalakulás vizsgálata elsősorban mégsem emiatt fontos, hanem azért, mert ezzel a lejátszódó folyamatok törvényszerűségei jobban megállapíthatók. Állandó hőmérsékleten ugyanis az átalakulás legfontosabb két befolyásoló tényezője állandó: egyrészt a folyamat termodinamikai hajtóereje, azaz a szabadentalpiák különbsége, másrészt a diffúzió sebessége.

Az ausztenit átalakulásának vizsgálati módszerei elvileg teljesen azonosak az ausztenitesedés folyamatának vizsgálati módszereivel. A vizsgálat történhet folyamatos hűtés közben és izotermásan. Izotermás vizsgálattal az idő függvényében valamely olyan változót kell mérni, amely híven követi az átalakulás lefolyását. E változók nagyon gyakran az ausztenitesedés vizsgálatakor már megismert szövet, illetve fajtérfogat. Ez utóbbi most természetesen azon alapszik, hogy az ausztenit átalakulása bármely szövetelemmé is, fajtérfogat növekedéssel játszódik le.

A szövetvizsgálat több próbadarabbal történik. Ezeket valamilyen, de azonos – általában az ipari gyakorlatnak megfelelő ausztenit szemnagyságot jelentő – ausztenitesítés

után, hirtelen az átalakulás A_1 alatti hőmérsékletére hozzuk, majd ott különböző ideig tartunk egy-egy próbadarabot. Adott idő elteltével a mintát vízben lehűtve, a hűtés időpontjában meglévő állapotot tudjuk „befagyasztani”. A gyors hűtésnek köszönhetően a még át nem alakult ausztenitből martenzit lesz, s ez a szövet mikroszkópos vizsgálatakor jól elkülönül az illető izotermán létrejövő átalakulási termékektől, szövetelemektől.

A fajtérfogat vizsgálatakor egy izotermán egy próbadarabot alkalmazhatunk. A dilatométerben történő ausztenitesítés, majd a dilatométerrel együtt az átalakulás hőmérsékletére való gyors hűtés után a hosszváltozás regisztrálásával a folyamat időbeli lezajlása folyamatosan követhető.

A szövetvizsgálat hátránya, hogy több darab szükséges hozzá, és csak diszkrét időpontokban tudjuk a folyamatot egy-egy állapotát rögzíteni, előnye viszont, hogy a létrejövő szövetelemeket is felismerhetjük, így pl. elkülöníthető a proeutektoidos ferrit kialakulása a perlit képződésétől

A dilatométeres vizsgálat előnye az egyes darabbal felvehető, az egész folyamatot leíró folyamatos görbe, hátránya viszont hogy közvetlenül nem árulja el a létrejövő szövetelemeket. Ezért a dilatométeres vizsgálatot is mindig kiegészítik az átalakult szövet vizsgálatával. Ez azért is fontos, mert egyes ötvözött acélok bizonyos hőmérsékleteken - a perlites és a bainites átalakulás hőmérsékletintervalluma találkozásánál, vagy a kis hőmérsékletű bainites átalakulásnál – lassan alakulnak csak át.

Mindenfajta izotermás vizsgálata lényege, hogy a próbadarabot a lehető leggyorsabban kell az ausztenitesítés hőmérsékletéről az átalakulás hőmérséklete hűteni. Ehhez mindig kisméretű minták kellenek, s az átalakulás hőmérsékletére beállított olyan közeg, amely gyorsan elvonja a hőt. A gyakorlatban ilyen célra legalkalmasabb folyékony fémfürdő, leginkább ónfürdő használata.

Izotermás átalakulási diagramok

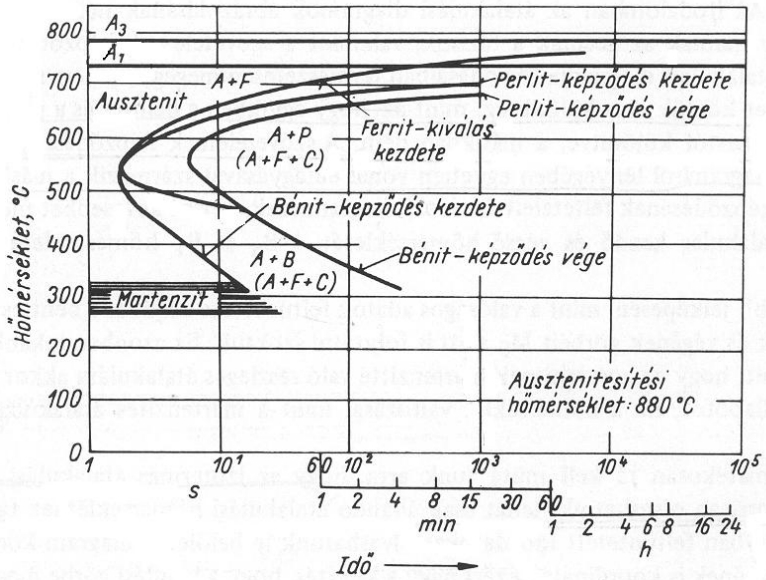
Az izotermás átalakulási diagramok elsősorban az acélok átalakulási folyamatainak megismerésére szolgálnak, viszont a gyakorlati viszonyokat jobban közelítő folyamatos lehűlésre vonatkozó átalakulási diagramok a hőkezelő szakemberek számára az egyik legfontosabb információval bírnak.

Mivel, mint láttuk, az ausztenit háromféle módon alakulhat át, így minden izotermás átalakulási diagram, három görbepárból áll: nevezetesen az eutektoidos, a bainites és a martenzites átalakulásra vonatkozó görbepárból. E görbékhez csatlakozhat a proeutektoidos szövetelemek megjelenését jelző görbe (proeutektoidos ferrit, esetleg karbid).

Arra már a martenzites átalakulás folyamatának tárgyalásakor rámutattunk, hogy az ausztenit átalakulásakor keletkezett martenzit mennyisége csak attól függ, hogy az M_s hőmérséklet alá mennyivel hűtöttünk, de nem függ az adott hőmérsékleten eltöltött időtől. Az izotermás átalakulási diagramban ezért a martenzites átalakulásra vonatkozó görbék az időtengellyel párhuzamosan futó egyenesek.

Az eutektoidos és a bainites átalakulásra vonatkozó diagramrészlet egy-egy C alakú görbepár. Ez a C görbe alak egyébként minden olyan átalakulásra jellemző, amely túlhűlés után csíraképződéssel, és a csírák diffúzióval irányított növekedésével megy végbe. Az ilyen jellegű átalakulások a kis- és nagyméretű túlhűlés után hosszú idő alatt, míg közepes túlhűléskor viszonylag gyorsan játszódnak le. Kis túlhűlés esetén ugyanis az átalakulást irányító kényszer kicsi, bár az átalakulás közben a diffúzió sebessége nagy. Nagy túlhűléskor azért nagy az időszükséglet, mert bár nagy az átalakulás hajtóereje, de az átalakult termék növekedéséhez szükséges diffúzió sebessége azonban csekély. E két szélső helyzet között alakul ki a reakció sebessége szempontjából a legkedvezőbb helyzet.

A perlites és a bainites átalakulásra vonatkozó görbepár csak a karbidképzővel ötvözött acélok diagramjaiban jelennek meg külön-külön, ötvözetlen acélokban ez a görbepár egymásra lapolódik. Egy ötvözetlen acél izotermás diagramja az 1. ábrán látható. Ezekbe gyakran fel szoktuk tüntetni a minták keménységi értékeit is. Erre azért is mód nyílik, mert az ausztenit átalakulását gyakran és leggyorsabban keménységméréssel követhetjük nyomon. Az átalakulási diagramokban többnyire szövetelemekre vonatkoznak a görbék, de esetenként a fázisokat veszik figyelembe. Az átalakulás kezdetét és végét megállapodásszerűen a 2% illetve a 95 vagy 98% os átalakult hányadhoz tartozó pontokkal jelölik. Az átalakulási diagramokban gyakran feltüntetik a 10, 20,…50 % átalakult hányadhoz tartozó görbéket is.



1. ábra

Ötvözetlen 0,45% karbontartalmú acél átalakulási diagramja

4. Feladatok

1. A Cr80-as anyagból készült próbákat 1050°C-on ausztenitesítettük, majd 650°C-os izotermán különböző ideig tartottuk a próbákat, majd leedzettük. Így a próbadarabokban különböző mértékben történt meg a ferrites-perlites átalakulás, az át nem alakult ausztenit pedig az edzés hatására martenzitté alakult át. Végezze el a próbadarab szövetvizsgálatát, határozza meg a ferrit, a perlit illetve a martenzit mennyiségét!

2. A csoport közösen diagramban ábrázolja az idő függvényében az előző feladatban meghatározott szövetelemek mennyiségét. Határozza meg az átalakulás kezdetéhez és a végéhez tartozó időt!

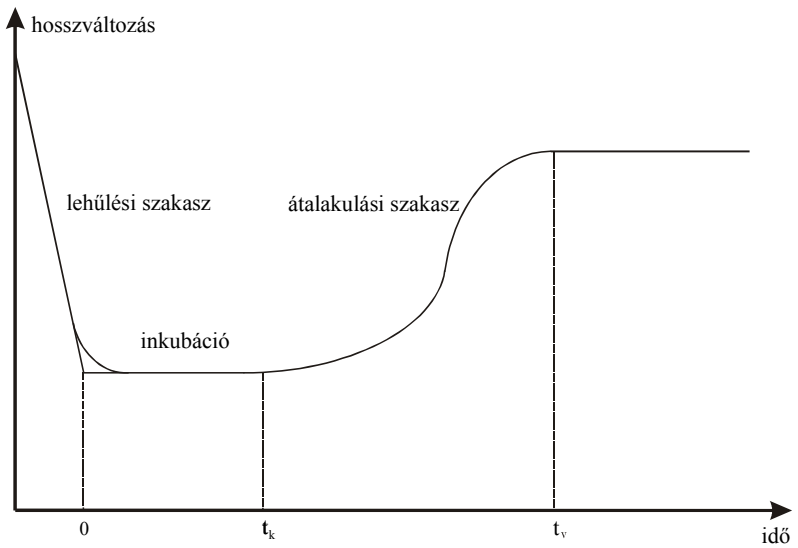
3. A Cr3-as anyagból készült próbákat 1050°C-on ausztenitesítettük, majd 460°C-os izotermán különböző ideig tartottuk, majd leedzettük. Így a próbadarabokban különböző mértékben történt meg a bainites átalakulás. Végezze el a próbadarab szövetvizsgálatát, határozza meg a ferrit, a bainit illetve a martenzit mennyiségét!

4. A csoport közösen diagramban ábrázolja az idő függvényében az előző feladatban meghatározott szövetelemek mennyiségét. Határozza meg az átalakulás kezdetéhez és végéhez tartozó időt!

5. A kapott dilatométeres görbe alapján határozza meg az adott hőmérsékletre érvényes, az átalakulás kezdetéhez és végéhez tartozó időket!

A dilatométeres görbe kiértékelésének sematikus ábrája 3. ábrában látható. A görbe három szakaszból áll:

1. Lehűlés szakasza: ekkor az ausztenitesítési hőmérsékletről az átalakulási hőmérsékletre hűtöttük a darabot. Ekkor a darab összehúzódik, az összehúzódás mértéke a lineáris hőtágulási együtthatóval arányos.
2. Inkubációs szakasz: ekkor a darab mérete gyakorlatilag nem változik
3. Átalakulási szakasz: Az átalakulás hatására térfogat- illetve hossznövekedés játszódik le. Az átalakulás befejeződését a térfogat növekedés leállása jelzi.



3.ábra
A dilatométeres görbe kiértékelése

A görbe kiértékelésénél a 3. ábrán látható módon megállapítjuk az izoterma kezdetét (0 pont), az átalakulási folyamat kezdetét (t_k) illetve végét (t_v). Esetünkben annyival van még nehezítve a feladat, hogy a vízszintes tengelyen eltelt időt a dilatométeres szalagon milliméterben van felvéve, amit még át kell számolni órába, a szalag sebesség alapján. A hosszan lejátszódó folyamatoknál két illetve három sebességet alkalmaztunk. Az átalakulást jellemző időket célszerű másodpercbe illetve percbe átszámolni, hogy könnyebb legyen felvenni az átalakulási diagramot.

$$t_k = \frac{l_k}{v} \qquad (1)$$

illetve:

$$t_v = \frac{l_1}{v_1} + \frac{l_2}{v_2} + \frac{l_3}{v_3} \qquad (2)$$

ahol: l_k –az átalakulás kezdetéhez leolvasott dilatométeres szalag távolsága, mm
v- dilatométeres szalag sebessége, h
t_k –az átalakulás kezdetéhez szükséges idő, s
l_1, l_2, l_3 –az átalakulás közben leolvasott dilatométeres szalag távolságok, mm
v_1, v_2, v_3 – az átalakulás közben alkalmazott szalag sebességek, h

6. Az előző feladatban kapott eredmények alapján a csoport többi tagjának eredményeit is felhasználva készítse el az acél ausztenitjének izotermás átalakulására vonatkozó átalakulási diagramját! Számolj ki az adott acélminőséghez tartozó M_s hőmérsékletet a (3) egyenlet alapján, ahol acél összetételét a 1. táblázatba találhatja meg.

$$M_s = 510{,}59 - 453 \cdot C\% - 16{,}9 \cdot Ni\% + 15 \cdot Cr\% - 9{,}5 \cdot Mo\% + 217 \cdot (C\%)^2 - 71{,}5 \cdot (C\% + Mn\%) - 67{,}6 \cdot (C\% + Cr\%) \qquad (3)$$

C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Cu	P	S
0,31	1,2	0,64	1,2	0,05	0,15	0,2	0,028	0,022

1. táblázat az acél összetétele

5. Jegyzőkönyv

1. Szövetvizsgálat:

Izoterma hőmérséklete, °C	Martenzit mennyisége %	Ferrit mennyisége %	Perlit mennyisége %

2. Csoport diagram elkészítése az 1.feladat eredményei alapján.

3. Szövetvizsgálat:

Izoterma hőmérséklete, °C	Martenzit mennyisége %	Bainit mennyisége %

4. Csoport diagram elkészítése az 3.feladat eredményei alapján.

5. Dilatométeres vizsgálat:

Izoterma hőmérséklete, °C	l_k	v	t_k	l_1	v_1	l_2	v_2	l_3	v_3	t_k

számítás menete:

t_k=

t_v=

6. Az átalakulási diagram elkészítése.

M_s hőmérséklet:……..°C

számítás menete:

M_s=

6. Irodalom

Óvári: Vaskohászati kézikönyv Műszaki könyvkiadó, Budapest 1985, 45-53 old.

Verő-Káldor: Vasötvözetek fémtana, Műszaki könyvkiadó, Budapest 1980, 70-93 old.

Németh Emil: Acélok és nemvasfémek hőkezelése a gyártás technológiában, Műszaki könyvkiadó, Budapest 1981, 21-22 old.

Krauss: Principles of Heat Treatment of Steel, American Society for Metals 1988, p. 88-102

Verhoeven: Fundamentals of Physical Metallurgy, John Wiley & Sons 1974, p. 421-512

7. Ellenőrző kérdések

1. Hány C görbepárt tartalmaz egy átalakulási diagram, miért C alakú görbe írja le az átalakulást?

2. Mi a különbség az alsó és felső bainit képződését irányító mechanizmusok között?

3. Az ausztenit átalakulásának folyamata milyen fizikai tulajdonságok változása alapján követhető és hogyan változnak ezek a tulajdonságok átalakulás közben?

4. Vázolja a gyengén ötvözött eutektoidos összetételű acél izotermás átalakulási diagramját és jelölje be az egyes területeket!

5. Ferritképző ötvözőfém hatására hogyan változik meg az átalakulási diagram vonalainak helyzete?

7. Hányféle martenzitről beszélünk? Milyen acélokban keletkeznek ezek?

8. A króm ötvözés hogyan változtatja meg az izotermás átalakulási diagram vonalainak helyzetét.

9. Vázolja fel egy hipoeutektoidos acél izotermás átalakulási diagramját és jelölje be az egyes területeket.

10. A martenzites átalakulást hogyan jellemezzük az átalakulási diagramban? Miért?

11. Az ausztenitesítés hőmérséklete hogyan hat az átalakulási vonalak helyzetére?

12. Röviden írja le a bainites átalakulás mechanizmusát.

13. Hasonlítsa össze az acélok bainites és martenzites átalakulásának mechanizmusát.

14. Milyen folyamat irányítja a martenzites átalakulást?

15. A perlit, illetve a bainit képződése milyen csíra keletkezésével indul meg?