

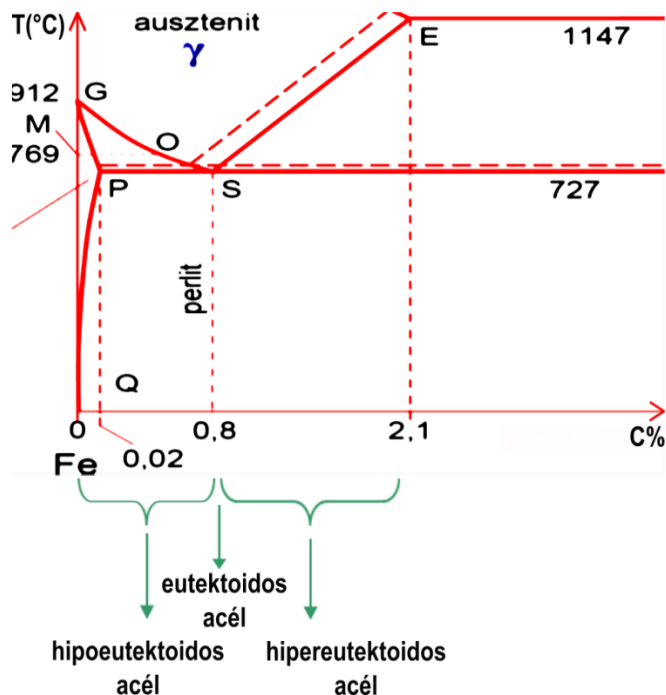


Acélok hőkezelése



ACÉLOK HŐKEZELÉSE

Az acél alapvetően Fe-C ötvözet, melyet tulajdonságainak javítására további anyagokkal ötvözhetnek. (Az ötvözetlen acélok maximális széntartalma 2,1 %, de néhány erősen ötvözött szerszámacél esetében ez nagyobb mennyiség is lehet – 1. ábra).



1. ábra. Fe-C állapotábra acélokra vonatkozó része

Az acélok ma is a gépészeti anyagok legfontosabb csoportját képezik. A világ acéltermelése az elmúlt évben elérte az 1,7 milliárd tonnát, ez azt jelenti, minden személyre évente 200 kg-nyi acéltermelés jut. A nagymértékű felhasználás lehetővé válik, mert:

- gazdaságosan előállítható, nagyüzemi előállítása jó hatásfokú, újra feldolgozhatósága igen előnyös,
- technológiai eljárásokkal (alakítással, ötvözéssel, hőkezeléssel és ezek kombinációival) széles tartományban befolyásolhatók különböző tulajdonságai (pl. mechanikai jellemzők, korróziós viselkedés, stb.).

Hőkezelés hatására az acélok tulajdonságai széles határok között változtathatók, így szívóssági és szilárdsági értékeik a felhasználás követelményeinek megfelelően beállíthatók. A hőkezelés szó egy eljárásrend gyűjtőneve, melynek segítségével a fémek és ötvözeik szövetszerkezetét igényeinknek megfelelően termikus aktiválás révén változtatni tudjuk, a kezelt tárgy alakjának és kémiai összetételének megváltoztatása nélkül.

A hőkezelés programozott hevítésből, hőntartásból és lehűtésből álló műveletsor, amely változtatott paraméterek mellett akár többször is megismételhető, és melynek célja a munkadarab szövetszerkezetének illetve feszültségállapotának megváltoztatása az előírt tulajdonságok (szilárdság, szívósság, kopásállóság, megmunkálhatóság stb.) elérése érdekében.

Minden fémes anyag hőkezelhető, azonban az acélok ($C < 2,1 \%$) különösen alkalmasak arra, hogy tulajdonságaikat hőkezeléssel befolyásoljuk.

Az acélokat az általunk tárgyalt leggyakoribb hőkezelési műveletek előtt ausztenitesítjük. Az ausztenites szövetszerkezetet valóságos körülmények között *izotermikus* hevítéssel vagy *folyamatos* hevítéssel lehet létrehozni.

A valóságban a lehűlési sebesség nem "végtelen lassú", hanem gyorsabb. A lehűlés sebességének vagy a túlhűtés mértékének nagyságától függően változik a közel egyensúlyi állapotú ausztenit átalakulásának módja. Az ausztenit az A_1 hőmérséklet és kb. 550°C között perlitese alakul át. Megfelelően gyors hűtés esetén, a perlitese átalakuláson kívül bénites és martenzites átalakulás is létrejöhet. Minél gyorsabb a lehűlés (minél kevesebb a diffúziós folyamat rendelkezésére álló idő), annál közelebb van az összetétel az allotróp átalakulás után is az ausztenit összetételéhez.

1. Ausztenitesítési diagramok

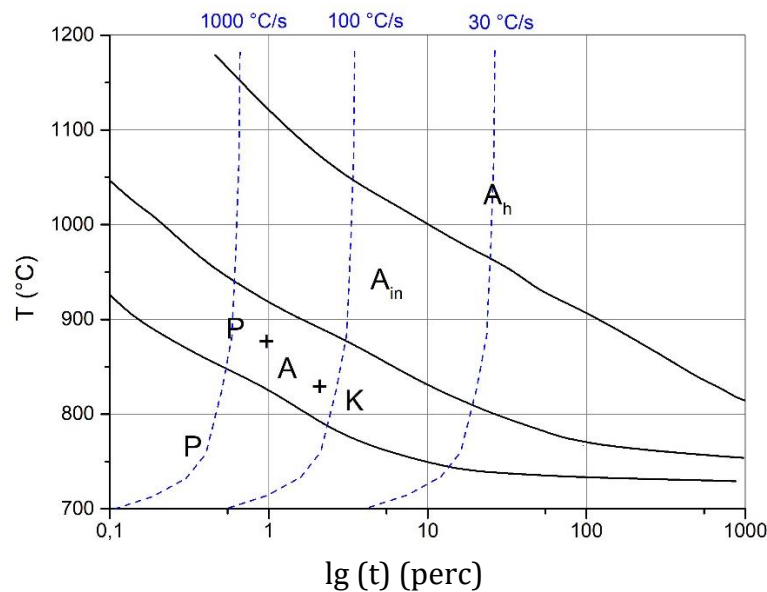
Az acélok hőkezelése során a programozott hevítés gyakran az ausztenites zónába történik, ahol hőntartás, majd hűtés következik.

Az ausztenit az acélokban valóságos körülmények között létrehozható izotermikus illetve folyamatos hevítéssel.

Az **izotermikus** viszonyok közötti ausztenitesítéshez a hevítésnek olyan gyorsnak kell lennie, hogy annak időszükséglete az ausztenitesedés szempontjából elhanyagolható legyen, így konstans hőmérsékleten – izotermán – értékelhető az ausztenitesedés folyamata, vagyis az ausztenit képződés kezdetéhez és befejeződéséhez szükséges időtartam.

Az izotermikus diagramok használhatósága korlátozott, mivel a gyakorlatban a nagyobb alkatrészek esetén nehéz, vagy nem is lehet az izotermikus hevítés feltételeit megvalósítani.

A **folyamatos hevítésre** felvett $T\text{-lg}(t)$ diagramban (2. ábra) egy felhevítési sebesség vonalat kiválasztva az ausztenitesedés kezdetét az Ac_1 , befejeződését az Ac_3 görbével való metszéspont fejezi ki. Az ausztenitté alakulás Ac_3 hőmérsékleten ugyan befejeződik, de ekkor az ausztenit még inhomogén, vagyis az előzőleg perlites helyeken több, míg a korábban ferrites helyeken kevesebb szén tartalmaz. Az ausztenitesítés hőmérsékletét és időtartamát úgy kell megválasztani, hogy elfogadható homogenitású, de még finomszemcsés ausztenit jöjjön létre az ebből az állapotból induló hőkezelés(ek)hez. A folyamatos hevítés sebessége az átalakulást a nagyobb hőmérséklet és a kisebb idő irányába tolja el.



2. ábra. Eutektoidos acél (C = 0,8 %) folyamatos ausztenitesítési diagramja

2. Nem egyensúlyi átalakulási diagramok

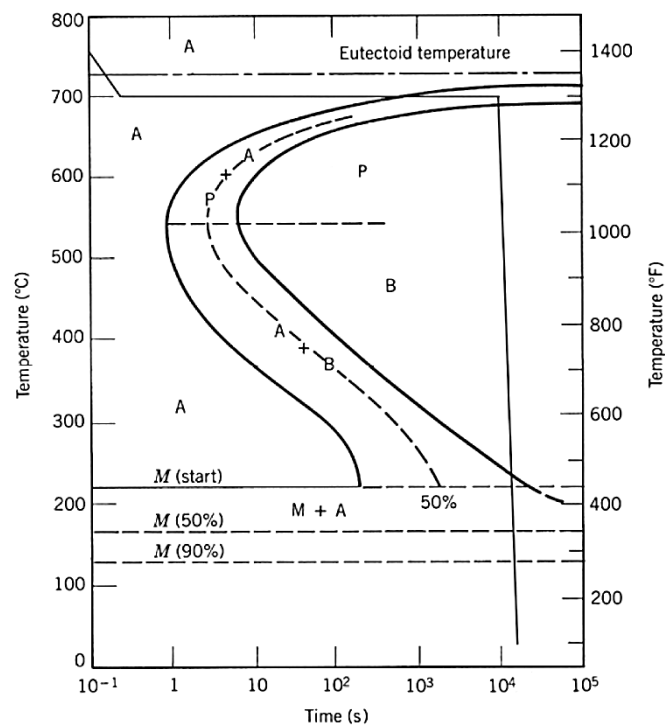
Az átalakulási folyamatot két ellentétes hatás befolyásolja: a ΔT túlhűtéssel az átalakulási kényszer nő (az átalakulásra képes kritikus csíraméret egyre kisebb lesz), viszont az így kialakult kis(ebb) hőmérsékleten a diffúzió sebessége csökken. E két hatás együttesen eredményezi, hogy az ausztenit átalakulásainak T hőmérséklettől függő t időszükségletét T - $lg(t)$ koordináta-rendszerben, *C*-alakú görbék jellemzik. A *C*-görbék fontos segédletei a leggyakrabban alkalmazott hőkezelési technológiáknak.

A nem egyensúlyi átalakulások nemcsak az átalakulási hőmérsékleteket, hanem a hevítéskor és a hűtéskor keletkező szövetelemek mennyiségi és minőségi viszonyait is megváltoztatják. A nem egyensúlyi átalakulásokat *izotermikus* (közel állandó hőmérsékleten), illetve *folyamatos lehűlésnél* vizsgálhatjuk. A nem egyensúlyi átalakulási görbék az ausztenit átalakulásának kezdetét és végét valamint a belőle kialakuló szövetszerkezeteket mutatják.

Az **izotermikus átalakulási diagramok** konstans hőmérsékleten (izotermán) diffúziós átalakulásokra mutatja az átalakulások kezdetéhez és befejeződéséhez szükséges időtartamokat (3. ábra), továbbá a kialakuló szövetszerkezet összetevőit, keménységét. Az izotermikus átalakulás csak kisméretű próbatesteken, az ausztenit gyors hűtésével (pl.: só vagy fémfürdőben), majd hőntartással valósítható meg.

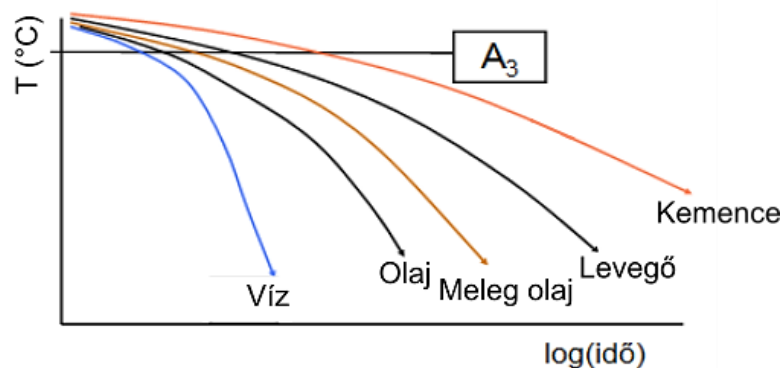
A gyakorlatban az izotermikus átalakulást patentírozás műveleténél használják ki, ahol többnyire bénites szövetszerkezet létrehozása a cél.

A valóságban a hűtés ritkán izotermikus, leggyakrabban folyamatos, azaz a lehűtés az hevítési hőmérsékletéről szobahőmérsékletre szabályozottan történik. A lehűtés sebességét az elérni kívánt szövetszerkezeti változás határozza meg.



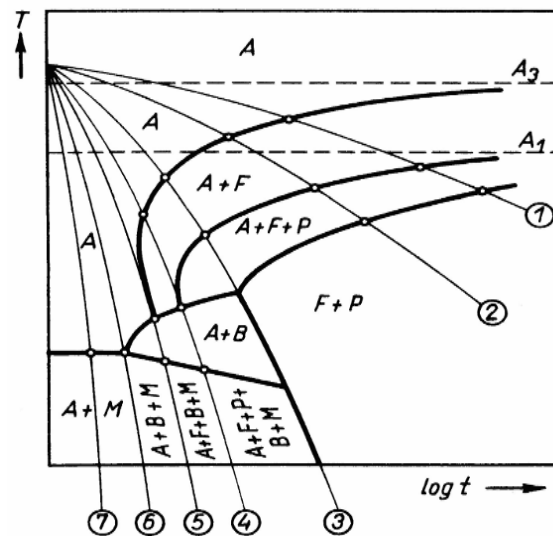
3. ábra. Eutektoidos acél izotermikus lehülési diagramja

A folyamatos hűtésre vonatkozó ausztenit átalakulási diagramok, $T\text{-}\lg(t)$ koordináta-rendszerben, egy bizonyos hűtőközeg által meghatározott hűtés (lehülési görbe) mentén mutatják az átalakulások kezdő és vég hőmérsékletét, a hozzájuk tartozó időtartamokat, valamint a várható szövetelemeket, ill. keménységértékeket is. A hűtési sebesség lehet gyors (edző, rögzítő hatású), normál (rendszerint levegőn) és lassú (lágító hatású) (4. ábra).



4. ábra. Hűtőközegek hatásai folyamatos lehűlések során

A folyamatos lehülési görbénél az ausztenit átalakulásának kezdetét és végét a lehülési görbén adjuk meg. Az egyes átalakulások végét jelző vonalaknál az átalakult szövetelemek %-os mennyisége, a lehülési görbék végén a keletkezett szövetszerkezet keménysége van feltüntetve (5. ábra).



5. ábra. Egy hipoeutektoidos acél elvi folyamatos átalakulási diagramja

A folyamatos hűtésre érvényes átalakulási diagramokon ($T\text{-}\lg(t)$ diagramok), az ausztenitesítés hőmérsékletét, valamint a kritikus átalakulási hőmérsékleteket (A_1 , A_3) mindig fel kell tüntetni.

Az átalakulások mindig csak a különböző hűtési sebességekre vonatkozó lehűlési görbék mentén elemezhetők.

A lehűlés során az egyensúlyi és a nem egyensúlyi fázisok, szövetelemek csak ausztenitből keletkezhetnek, a kialakult szövetszerkezet tovább már nem alakul.

Egy ausztenit átalakulási diagram csak adott kémiai összetételre és kiinduló ausztenites állapotra (homogenitás, szemcseméret) vonatkozik. Különböző hőmérsékleteken végzett ausztenitesítés után, azonos hűtési feltételekkel végzett hőkezeléssel a létrejövő szövetelemek mennyiségi aránya, ezáltal a darab keménysége különböző.

3. Hőkezelési eljárások

A hőkezelési eljárások alaptípusai: a lágyítás, a feszültségcsökkentő hőkezelés, a normalizálás, az edzés, a megeresztés és a nemesítés.

Lágyítás

A lágyítás célja: az egyensúlyi állapothoz közeli állapot beállítása. A nagyobb ($C > 0,4 \%$) C tartalmú acélok csak lágyított állapotban forgácsolhatók könnyen.

Megvalósításának módja: az ausztenit mezőből ($A_3 + 20\text{-}50^\circ\text{C}$) való igen lassú – kemencében történő – hűtés.

Feszültségcsökkentő hőkezelés

A feszültségcsökkentő hőkezelés célja: a gyors hűtési folyamatok által okozott belső feszültségek csökkentése, edzés, hegesztés vagy alakítás közbeni elhúzóadásra vagy repedésre érzékeny darabok esetén.

Megvalósításának módja szobahőmérsékletről 550-670°C hőmérsékletre hevítés utáni 2-4 óra hőntartás, majd lassú hűtés.

Normalizálás

A normalizálás célja: a szövetszerkezetre ható változtatások hatásának visszaállítása teljes vagy részleges újrakristályosítással, illetve az előzőleg durvaszemcsés acél szilárdsági tulajdonságainak javítása. Kis szénttartalmú anyagoknál a lágyított állapothoz viszonyítva jobb a normalizált anyag forgácsolhatósága is. Gyakran ebben az állapotban adják meg az anyag mechanikai tulajdonságait.

Megvalósításának módja az ausztenitesítés hőmérsékletéről nyugvó levegőn történő lehűtés. A hőntartási idő hosszabb, mint 30 perc.

Edzés

Az edzés célja: a martenzites vagy bénites szövetszerkezet létrehozása.

Megvalósításának módja a teljes- vagy részleges ausztenitesítés után az ausztenitesítés hőmérsékletéről ($A_3 + 30-50^\circ\text{C}$) az acélra jellemző felső kritikus sebességnél nagyobb hűtési sebességgel történő hűtés. Az acél összetételétől függően a felső kritikus sebességet biztosító hűtőközeg különböző (víz, olaj vagy akár levegő) lehet.

Megeresztés

A megeresztés célja az edzett, rideg martenzites szövetszerkezet módosítása, hogy a dinamikus igénybevételekkel szembeni ellenállás és a szívósság növekedjék.

Megvalósításának módja az, hogy az edzést követően a célnak megfelelő hőmérsékletre hevítjük az alkatrészt, majd megfelelő ideig hőn tartjuk és azt követően lehűtjük. Az anyagi jellemzők a hőmérséklet és a hőntartási idő függvényében változnak).

A kis hőmérsékleten (100-300°C) végrehajtott megeresztés során a martenzites állapottal járó ridegség csökkenthető, miközben a keménység nem, vagy csak alig változik.

A nagy hőmérsékleten (500-680°C) végrehajtott megeresztés során a martenzit megbontásával, finom karbid-eloszlás és jelentős szívósság növekedés érhető el.

Nemesítés

Az edzést és a nagyhőmérsékletű megeresztést (550-650 °C) nemesítésnek nevezzük. Célja a dinamikus igénybevételnek kitett gépalkatrészek (tengelyek, hajtóműalkatrészek) anyagát olyan ferrites-cementites szövetszerkezetűvé tenni, hogy az anyag a nagy folyáshatár és a jelentős kifáradási határ ellenére is szívós maradjon. A nemesítés után nyert szövetszerkezet szferoidit vagy szemcsés perlit.

4. Edzhetőség

Az acél egyik jellemző hőkezelési technológiája az edzés. *Edzhetőségen* az acélnek azt a tulajdonságát értjük, melynél az A_3 fölötti hőmérsékletről a kritikusnál nagyobb sebességgel hűtve a szövetszerkezetében legalább 50 %-ban martenzit alakul ki, amelynek hatására a szilárdsága megnő, a szívóssága pedig romlik a lágyított állapothoz képest. A gyakorlatban arra törekszenek, hogy az edzett acél 100 %-ban martenzitet tartalmazzon, ilyenkor az edzést tökéletesnek nevezik.

Az edzés feltételei:

- Az acél széntartalma meghaladja a 0,2 %-ot $\rightarrow C > 0,2 \%$
- A szövetszerkezet a hűtés megkezdésekor ausztenites legyen $\rightarrow T > A_3 + 30 - 50 \text{ }^\circ\text{C}$
- A hűtés sebessége a felső kritikus sebességnél nagyobb $\rightarrow v_{\text{hűtési}} > v_{\text{krit}}$

A martenzit keménységét a benne oldott szén mennyisége határozza meg. Egy határon túl azonban a karbontartalom növelése már az edzett acél keménységét nem növeli, inkább csökkentő hatású. A nagyobb karbontartalmú (0,6 % felett) acéloknál a martenzit képződés befejezési hőmérséklete $0 \text{ }^\circ\text{C}$ alá kerül, így az ausztenit nem alakul át teljes egészében martenzitté, hanem maradék ausztenit marad az acélban. Ez lágyabb, mint a martenzit, ami az acél keménységét csökkenti. Emellett, ha az edzési hőmérséklet túl kicsi, a kialakult szövetszerkezet lágyabb, mint a martenzit keménysége.

5. Mi várható a labor során?

Mindenki kap egy hőkezelt acélt, amelynek megméri a keménységét. Ezt követően összevetik az eredményeket egy közös táblázatba és levonják a következtetéseket a keménység, szén tartalom és hőkezeltség között.

A labor végén a kapott acélt hajlításnak vetik alá.

A jegyzőkönyvet a laborgyakorlaton kell befejezni és bemutatni aláírásra.

Felkészülést segítő kérdések:

1. Fogalmazza meg a hőkezelés fogalmát!
2. Melyek az alapvető hőkezelési eljárások?
3. Mi a különbség az izotermikus és folyamatos lehűtés között?
4. Milyen információk olvashatók le egy folyamatos lehűtési diagramról?
5. Mi a hűtőközeg lágyítás esetén?
6. Mi a hűtőközeg normalizálás esetén?
7. Mi a hűtőközeg edzés esetén?
8. Mik az edzhetőség feltételei?

Felhasznált és ajánlott irodalom:

- Dr. Szombatfalvy Árpád: Az acélok edzhetősége, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967
- Dr. Artinger István – Szerszámacélok és hőkezelésük, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978
- Dr. Szombatfalvy Árpád: A hőkezelés technológiája. Franklin nyomda, Budapest, 1985.
- G.Kraus, Steels heat treatment and processing principles, ASM International, New York, 1990.
- Kandpal et al: A review on jominy test and determination of effect of alloying elements on hardenability of steel using jominy end quench test, International Journal of Advances in Engineering & Technology, India, 2011