X. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2005. március 18-19.

INTERKRITIKUS JOMINY VIZSGÁLAT A DP ÉS TRIP ACÉLOK ÁTALAKULÁSI TULAJDONSÁGAINAK MEGHATÁROZÁSÁRA

Dr. Réger Mihály*, Dr. Verő Balázs, Dr. Csepeli Zsolt*****

*BMF BGK Anyag és Alakítástechnológiai Tanszék

**Bay Zoltán Anyagtudományi és Technológiai Intézet

***DUNAFERR Rt., Innovációs Menedzsment

The final microstructure of DP and TRIP assisted steels can evolve after hot working (hot rolling) or during post heat treatment process. The effect of the different combinations of these technological parameters on the microstructure can be mapped by the special Jominy end-quench test (so called intercritical Jominy end-quench test) described in this paper. The analysis of measured and calculated data can help us find the technological parameters optimal from the microstructural point of view.

A DP és TRIP acélok végső szövetszerkezete a meleghengerlés után, vagy az alakítást követő hőkezelés során alakul ki. A technológiai paraméterek hatásának feltérképezése egy speciális, ún. „interkritikus Jominy vizsgálat” alkalmazása célszerű. A mért és számított adatok értékelése lehetőséget ad a szövetszerkezeti szempontból optimális technológiai paraméter kombináció kiválasztásához.

1. Bevezetés

Az interkritikus lágyítás anyagtudományi és termikus szimulációja elsősorban azt a célt szolgálta, hogy ipari körülmények között DP ill., TRIP szövetre való hőkezelés gyártástechnológiai lehetőségeit feltérképezzük, ezáltal a technológiai biztonság növekedjék és a technológiai paraméterek függvényében a várható szövetszerkezet, illetve a mechanikai tulajdonságok előre jelezhető legyenek. A cél megvalósításához, vagyis egy adott acél, adott technológiai berendezésben történő hőkezelhetőségének megítéléséhez nyilvánvalóan két irányból, a berendezés, illetve az anyagminőség oldaláról kell közelíteni. A matematikai modellezéssel tehát egyrészt azt térképeztük fel, hogy a meglévő hőkezelő berendezésekkel (folyamatos hőkezelő kemence, folyamatos horganyzósor) a lehetséges technológiai paraméter ablakban milyen hőciklus variációk valósíthatók meg, másrészt – anyagtudományi oldalról - a DP és TRIP kísérleti adagok milyen átalakulási tulajdonságokat mutatnak, illetve milyen hőciklussal produkálható esetükben a megkívánt szövetelem arányú többes fázisú szövet. Sikeres ipari gyártásra akkor van lehetőség, ha a berendezésben megvalósítható hőciklus

és a megkívánt szövet létrehozásához szükséges hőciklus variációk között átfedés van, vagyis a két halmaznak van közös része. További feladat a megvalósítható technológiai variációk közül az anyagtudományi, gazdaságossági, stb. szempontok szerinti optimális variáció kiválasztása.

2. Kísérleti terv

Tekintettel arra, hogy a DP és TRIP acélválaszték igen széles és az interkritikus lágyítás megvalósításai lehetőségei (interkritikus lágyítási hőmérséklet, hűtési sebesség) is tág tartományt ölelnek fel, így olyan eljárást kívántunk alkalmazni, mellyel a hőkezelési technológiai paraméterek változtatásának hatása viszonylag egyszerűen, de nagy paraméter tartományban vizsgálható. A fenti kívánalmaknak jól megfelel az a hűlési sebesség tartomány, mely a nemesíthető acélok edzhetőségének megítélésére alkalmazott ún. Jominy-vizsgálat során megvalósítható. A hagyományos Jominy-vizsgálat során hipoeutektoidos acéloknál a kiinduló állapot tisztán ausztenites, vagyis az ausztenitesítési hőmérséklet A_3 hőmérséklet fölötti. A DP és TRIP acéloknál alkalmazott interkritikus hőkezelés interkritikus hőmérsékletű izzításból és egy azt követő lehűtésből áll, mely jól modellezhető az általunk bevezetett interkritikus Jominy-vizsgálattal. Az eljárás lényege tehát, hogy a lehűtés előtt a szabványos Jominy próbatestet csak részben ausztenitesítjük, vagyis a hőntartási hőmérséklet az acél összetételétől függő A_1 és A_3 hőmérsékletek között van. Adott idejű hőntartás (10 perc) után a próbát a szabványban előírt módon, vagyis a véglapot érő, adott intenzitású vízsugárral hűtöttük le. A hűtött véglaptól való távolság függvényében a próbatestben egyre kisebb hűlési sebességek alakulnak ki, így egyetlen próbatest alkalmazásával egy adott interkritikus hőmérsékletről való lehűlés eredménye - a kialakult szövetszerkezet - a hűlési sebesség széles tartományában feltérképezhető.

Az így kezelt Jominy próbatestek keménységi és metallográfiai vizsgálatával tehát egy adott interkritikus hőmérsékletre vonatkozóan a szövetszerkezet és keménységeloszlás meghatározható, és ha ismerjük az adott pontra érvényes hűlési sebességet, akkor az a szövetszerkezettel és keménységgel összefüggésbe hozható. A cél tehát az, hogy adott Jominy ponthoz egyidejűleg hozzá tudjuk rendelni a hűlési sebesség, a szövetszerkezet és a keménységi adatokat.

A következőkben leírtak szerint mérésekkel és matematikai modellezéssel a teljes Jominy próbatest aktuális interkritikus hőntartására vonatkozóan meghatároztuk a lehűlési görbét, ezt követően pedig a keménységeloszlást. A szövetszerkezet, valamint a szövetelemek mennyiségének meghatározása elkezdődött, de végleges, megbízható eredmények a szövetelemek meglehetősen nehéz azonosíthatósága miatt még nincsenek. A kialakult szövetre jellemző, hogy igen finomszemcsés és az egyes szövetelemek nem választhatók el élesen egymástól. A szakirodalomban több olyan elemzést is találtunk, mely egy maratott minta látszólag homogén területén három szövetelem (bénit, martenzit, maradék ausztenit) egyidejű jelenlétét mutatta ki röntgendiffrakciós eljárással.

3. Kísérleti munka

A próbatestben a lehülés során kialakuló - helytől és időtől függő - hűlési görbék ismerete elengedhetetlen az eredmények értelmezéséhez. A kísérleti munka során erre a körülményre kiemelt hangsúlyt fektettünk. A szabványos Jominy próbatesteken két ponton, a véglaptól 10 és 50 mm-re a felületre merőlegesen átm. 1,3 mm-es furatokat készítettünk a próba középvonaláig és ezekbe a vizsgálat teljes idejére Ni-CrNi köpeny termoelemeket helyeztünk, így a teljes hőciklusra (felhevítés, hőntartás és lehűtés) vonatkozóan ebben a két pontban mértük a hőmérsékletet. A hőmérsékleti ciklus adatait számítógépes adatgyűjtővel regisztráltuk.

Az előzetes számítások és irodalmi adatok alapján ötféle (730, 760, 790, 820 és 850 °C) interkritikus hőmérsékletet jelöltünk ki, és minden összetétel esetében elvégeztük a teljes ausztenitesítésre vonatkozó vizsgálatot is 930 °C-os ausztenitesítési hőmérséklet alkalmazásával. A következő lépés a próbatest lehűtése, melyre a termoelemekkel együtt a Jominy készülékben került sor. A szobahőmérsékletre lehűlt hengeres mintákat hosszában a középvonal mentén kétfelé vágtuk. Az így kapott mintákat megköszörültük és megpolíroztuk, a középvonalban keménységmérést és metallográfiai vizsgálatokat végeztünk.

Annak érdekében, hogy a Jominy próbatest középvonalában, a hűtött véglaptól különböző távolságokban kialakuló hűlési görbéket meghatározzuk az egyes interkritikus hőmérsékletek esetére, hőtani matematikai modell alkalmazására került sor. A modell peremfeltételeinek optimalizálása után a Jominy próbatest tetszőleges tengelyvonal pontjában a hőmérséklet időbeli változása már meghatározható. A hűlési görbék alapján, a véglaptól egy adott távolságra lévő ponthoz hozzárendelhető az átlagos hűlési sebesség, melyen általában az átalakulási folyamatok esetére a 700 és 500 °C közötti lehűlési sebesség értendő.

A fentiekben részletezett kísérleti tevékenység eredményeként olyan próbákat állítottunk elő, melyek termikus történetét a középvonal mentén minden egyes pontra ismerjük. A cél, vagyis a létrejött szövet, keménység és termikus történet összerendelésének tehát elvileg nincs akadálya. A szövetképek elemzése folyamatban van, megfelelő marószerszám és képelemzési módszer alkalmazásával a szövetelemek, de legalább a ferrit mennyiségének kvantitatív meghatározása is reményteljes.

A Helsinki University of Technology egyetemen fejlesztett ADC (Austenite Decomposition Analysis Package for Low Alloyed Steels) szoftver részben az átalakulási diagramok adatainak statisztikai elemzésére, részben termodinamikai alapokon nyugszik. Folyamatos hűtés viszonyai között meghatározható az átalakulási hőmérsékletek, valamint a képződött szövetelemek mennyiségei és termofizikai tulajdonságai is.

4. Eredmények

A kísérleti és számítási eredmények egybevetésével minden interkritikus ausztenitesítési hőmérsékletre meghatározható az 1. ábra szerinti diagram. A sraffozott hányad jelképezi az interkritikus hőmérsékleten jelenlévő ferrit mennyiségét, a felette levő tartomány pedig az ausztenit átalakulását reprezentálja a hűlési sebesség függvényében. Az ábráról leolvasható szövetszerkezeti és keménységi adatok a gyakorlati technológia tervezésben felhasználhatók.

1. ábra Az interkritikus hőkezelés során kialakuló szövetszerkezeti variációk

Irodalom

- [1] J. Miettinen, Austenite decomposition analysis package ADC for steels – User manual of DOS version, Report TKK-MK-12, Laboratory of Metallurgy, Helsinki University of Technology (1997), 17 pp.
- [2] H.K.D.H. Bhadeshia, [A thermodynamic analysis of isothermal transformation diagrams](#), Metal Science, **16** (1982) 159-165.
- [3] H.K.D.H. Bhadeshia, [Bainite in Steels](#), Institute of Materials, London (2001), 1-450
- [4] <http://www.msm.cam.ac.uk/map/mapmain.html>