Bírálat

Szabó Péter János

Intenzív alakítási és hőkezelési folyamatok mikroszerkezetre gyakorolt hatásának értelmezése visszaszórtelektron-diffrakcióval című doktori munkájáról

A benyújtott – műszaki tudományok körébe tartozó – disszertáció igényes kivitelben készült, megfelel a formai követelményeknek.
A jelölt nagyon aktuális témát tárgyal, mivel a fémes anyagok fejlesztésének olyan részét választotta, mely az alakítási és hőkezelési folyamatok mikroszerkezetre gyakorolt hatását vizsgálja. Külön érdeme a szerzőnek, hogy a vizsgálat fő eszközének a visszaszórtelektron-diffrakciót választotta. A pásztázó elektronmikroszkóp alkalmazásával végzett visszaszórtelektron-diffrakció az utóbbi évtizedben a számítástechnika széleskörű alkalmazásával a fémes anyagok egyik legfontosabb finomszerkezeti vizsgálatává vált. A szerző alkalmazta ezt a módszert Magyarországon először. Az eljárással szerzett széleskörű tapasztalatok alapján összefoglalt lehetőségeinek bemutatása önmagában is a disszertáció fontos részét képezi. Az összeállítás részletesen bemutatja, hogy a módszer alkalmazható a fázisok azonosítására, mennyiségük meghatározására, az egyes krisztallitok orientációjának meghatározására (textura vizsgálatára), a kristályhatárok szerkezetének vizsgálatára. A disszertáció három acélfajta vizsgálatával érzékelteti a módszer nagyon jó alkalmazhatóságát és ennek alapján tudományos következtetések levonására.

A disszertáció a bevezetésben és irodalmi áttekintésében (5-45. oldal) zömében külföldi hivatkozások (az irodalmi hivatkozások száma: 112) ismerteti a szemcsékre, krisztallitokra vonatkozó fogalmakat, a különböző szemcsehatárok szerkezetét, határfelületi energiájukat, hatásukat az ötvözetek tulajdonságaira. Külön foglalkozik a diszlokációk szerepével. A későbbiek során használja az egyensúlyi és telítési diszlokáció szám fogalmát, amit meg kellene magyarázni, hogy mit ért ezeken.
A termomechanikus kezelések sokféleségére közölt összefoglaló 16. ábra helyett talán szemléletesebb a mellékletben szereplő ábra, mivel ebben az ausztenit újrakristályosodására is van utalás. Természetesen a ciklikus (ismételt kezeléseket) ez az összeállítás sem tartalmazza. Figyelemre méltó, hogy manapság már külön foglalkoznak a termomechanikus kezeléssel történő szemcsehatár szerkezetének módosításával is és ezzel összefüggésben a tulajdonságok, például a kúszásra kifejtett hatásával. Tudomásom szerint a termomechanikus kezelést ipari méretekben leginkább a szerkezeti acélok meleghengerlésénél alkalmazzák.
A kiindulási nagy diszlokációsűrűség előállítása hőkezeléssel című fejezetben a martenzit szerepével kapcsolatos megfogalmazások kissé pontatlanok. Az M_s hőmérsékletének változása a karbon és más ötvözőtartalomtól függően termodinamikai okokkal magyarázható. A tetragonalitás növekedése valóban a karbon tartalom

növekedésével kapcsolatos, de ezzel együtt a lécszerű martenzit helyett egyre inkább az ún. tűszerű, sok ikerkristályt tartalmazó martenzit keletkezik és ezzel összefüggésben egyre bizonytalanabbul határozható meg a diszlokációsűrűség. Tudomásom szerint a 23 % nikkelt tartalmazó martenzit lécszerű martenzit, ezért viszonylag kisebb a diszlokációsűrűsége, mint a nagyobb karbon tartalmú tűszerű martenziteknek (18. ábra). A martenzites átalakulás végbemenetele nem az ausztenitesítési hőmérséklettől és a karbontartalomtól függ, hanem az ausztenitesitést követő hűtési sebességtől.
A vizsgálati módszerek fejezetében szereplő visszaszórtelektron-diffrakciós részt a disszertáció egyik legfontosabb fejezetének tartom, hiszen ebben pontos, és korrekt információt kapunk a módszer mindenegyes alkalmazási lehetőségéről.
A célkitűzések fejezetében a szerző megvilágítja, hogy az ultrafinomszemcsés anyagok előállítására miért választotta a továbbiakban tárgyalt három eljárást, és ehhez miért legfontosabb a visszaszórtelektron-diffrakcióval történő vizsgálat.

Ausztenites acél kaliberhengerlése

Ausztenites acél kaliberhengerlése során kereskedelemből beszerzett AISI 304-es acélt használt, melynek kiinduló tisztán ausztenites szerkezetét 1050 °C-ról vízben történt hűtéssel biztosította. A kezelés során kombinálta a négy lépésben végzett hidegalakítást és közben alkalmazott 850 °C-os hőkezelést (néhol 1050 °C szerepel, ami nyilván elütés lehet). Az egyes ciklusok után elvégzett széleskörű precíz vizsgálatok eredményei egyértelműen igazolják, hogy sikerült finomszemcsés (megfelelő kristályhatár szerkezettel) anyagot előállítani. A szerkezet kialakulásához fűzött magyarázatok elfogadhatók.
Kérdésem, hogy a csiszolatok a minták mely részéről és milyen irányban lettek kimunkálva, hiszen a bemutatott alakváltozási ábrák szerint az alakváltozások eléggé egyenlőtlenek voltak. A 45. a. és b. ábrán látható nem újrakristályosodott szemcsékben megfigyelhető "alakítási„ vonalak engem arra emlékeztetnek, mintha alakításkor martenzit (epszilon, alfa) is keletkezett volna és ennek természetesen a visszaalakulása ausztenitté is megtörtént volna a hevítéskor. Talán ez is közrejátszódhatott a szemcseszerkezet kialakulásában. További kérdésem, hogy közbülső hőkezelések nélkül, vagyis egy végső hőkezelés után is végzett-e szerkezet vizsgálatot (szemnagyság, kristályhatár)?

Ferrites acél többtengelyű kovácsolása

Ebben a fejezetben a szerző egy növelt szilárdságú hegeszthető acél termomechanikus kezelése során kialakult szövetszerkezetet vizsgálta. A leírásból kitűnik, hogy a kísérletsorozatból származó egyetlen mintának a nagyon részletes kiértékelését mutatja be és abból levont következtetéseit ismerteti. Az egész munkának a jelentősége abban van, hogy az ilyen típusú acélszalagok meleghengerlése során elérhető tulajdonságok javításában a kísérletek eredményei közvetlenül hasznosíthatók.
A vizsgált mintát Gleeble berendezésben öt lépcsőben alakították, 1250 °C-os ausztenitesítés után. A 40-50 °C/-os hűtés közben 5 lépcsőben (880, 815, 758,716 és

684 °C) elvégzett nagy sebességű alakítás után hűlt minta képét az 58. ábra mutatja. Látható, hogy a minta alakváltozása nem volt egyenletes, középső része szenvedett erős deformációt. A részletes vizsgálatokra szolgáló csiszolat is ebből a részből lett kimunkálva. Az 56. ábrán bemutatott számítással meghatározott átalakulási diagram csak tájékoztató jellegű adatokat tartalmazhat a kísérlet számára, (ausztenitesítés hőmérséklete 900 °C, nem alakított ausztenit). Valószínű, hogy az első két alakítás nem újrakristályosott ausztenitet eredményezett, míg a 3. alakításra vonatkozó megjegyzés, mely szerint pont az átalakulás kezdetének hőmérsékletére esik csak közelítőleg lehet érvényes. Hiszen az alakítás hatására az átalakulási diagram is módosul. Érdekes, hogy az 56. ábrán látható minta szélén viszonylag durva, nem nyújtott ausztenit krisztallitokra utaló szerkezet látható. Mivel magyarázható ez?
Az ausztenit melegalakítás közbeni viselkedésére főleg a keményedési görbék alapján szoktak következtetni, kiegészítve az alakítást követő edzés után az ausztenitszemcsék (nyújtottság, szemnagyság) megfigyelésével (pl. a 12. irodalom). A réz hidegalakításával való összevetést erőltetettnek érzem. (A 73. b. ábrán mintha finom újrakristályosodott szemcsék is lennének?)
A szerző jelen munkájában egy minta nagyon részletes és alapos vizsgálatával foglalkozik. Így a hűtés és az alakítás közbeni szerkezeti változásokra ennek ez egy mintának az elemzéséből csak valószínűsíteni lehet.
Nyilván a kutatómunka során végzett több kísérletből származó információkat is felhasználta a megállapításokban. A közölt eredmények megnyugtatóan bizonyítják, hogy valóban sikerült az adott feltételek mellett ultrafinom szemcsés anyagot előállítani. Kérdésem, hogy az 59. ábrán bemutatott szövetképen látható perlit nem befolyásolta-e a kiértékeléseket?
Vizsgálta-e a nagyobb méretű ferritszemcsék (alakítási nyomokat tartalmazó) nyújtottságát (63. ábra)? Úgy gondolom, hogy a ferrit részbeni újrakristályosodásának milyenségét (dinamikus?) csak ebből az egy vizsgálatból nem lehet egyértelműen megállapítani.

A léces martenzit alakítása és hőkezelése

A részletes vizsgálatokra a szerző a 0.16% C tartalmú acélt választotta, mivel ennél tapasztalta az adott körülmények (6 mm vastag lemez, 1100 °C-os ausztenitesítés után vízben edzett) mintákban a gyakorlatilag tisztán martenzites szövetet. A kis karbontartalmú acélokban keletkező léces martenzitet sokszor szabályosnak is szokták nevezni, mivel a tetragonalitást nem lehet kimutatni. A kis karbon tartalmú acélokban a martenzit kialakulásának feltételét elsősorban a hűtési sebesség határozza meg, hiszen színvasban több 10000 °C/s–os sebesség esetén is produkáltak már hasonló szerkezetet.
A Kurdjumov-Sachs-féle orientációs kapcsolat részletes elemzése alapján a kötegeken belül a kisszögű határok mellett nagyszögű határokkal jelzett tartományok is vannak, mint ahogyan a részletes mérésekkel is bizonyította a szerző. A kötegeken belül a lécek szélességére utaló méretek szerepelnek, de nincsen szó a lécek hosszáról, pedig a 84. ábra szerint az alakítás ezeket is befolyásolja. Az alakítást követő izzítás hatása a nagyfelbontású EBSD mérések alapján finom újrakristályodott szerkezet alakul ki,

vagyis viszonylag egyszerű módszerrel lehet ultrafinom szerkezetű, jó szilárdsági tulajdonságú terméket előállítani. A megeresztés során a karbidok kialakulására, hatásukra nincsen utalás a munkában. Lehet ezeknek szerepe?
Az alakítás hatására a TEM vizsgálatok szerint a diszlokációsűrűség megnőtt, miközben R_p értéke majdnem 50%-al is nagyobb lett. A röntgendiffrakciós eredmények viszont csökkenést mutatnak. Nem lehet itt valamilyen kiértékelési probléma, például a koherensen szóró tartományok mérete?
Nagyon fontos lehet annak megállapítása, hogy általánosan milyen esetekben lehet a gyakorlatban is létrehozni ezt a kedvező tulajdonságú szerkezetet. Ehhez természetesen további vizsgálatok szükségesek, hiszen például a karbon tartalom változásával a martenzites szerkezet alakíthatósága is jelentősen változik.

Összefoglalva az értekezéssel kapcsolatos véleményemet megállapítható, hogy a jelölt háromféle acél esetén is bizonyította, hogy létrehozható ultrafinom szemcsés anyag. Az irodalom és saját előkísérletei alapján kialakított konkrét technológiával létrehozott mintákat többféle korszerű berendezéssel vizsgálta. Kiemelkedő jelentősége a munkának a visszaszórtelektron-diffrakciós (EBSD) módszer alkalmazásával elért eredménye, mivel egyrészt ezt a viszonylag új módszert itthon Ő alkalmazta először és olyan meggyőző részletességgel, amit más közleményekben sem lehet általában megtalálni. Az eredmények hiteles és saját méréseken alapulnak. Az egyes technológiákkal végzett vizsgálatok eredményeit és azokból levont következtetéseit az összefoglalások tartalmazzák. Az egyes részekhez fűzött megjegyzéseim az elért új kutatási értékeit nem érintik, azokat elfogadom. A tézisek az összefoglalások szó szerinti megismétlését tartalmazzák. Így természetesen a bennük megfogalmazott megállapításokat is elfogadom, megjegyezve, hogy talán célszerű lett volna azokat tömörebben, a sok részlet nélkül megfogalmazni.

A doktori művet nyilvános vitára alkalmasnak tartom.

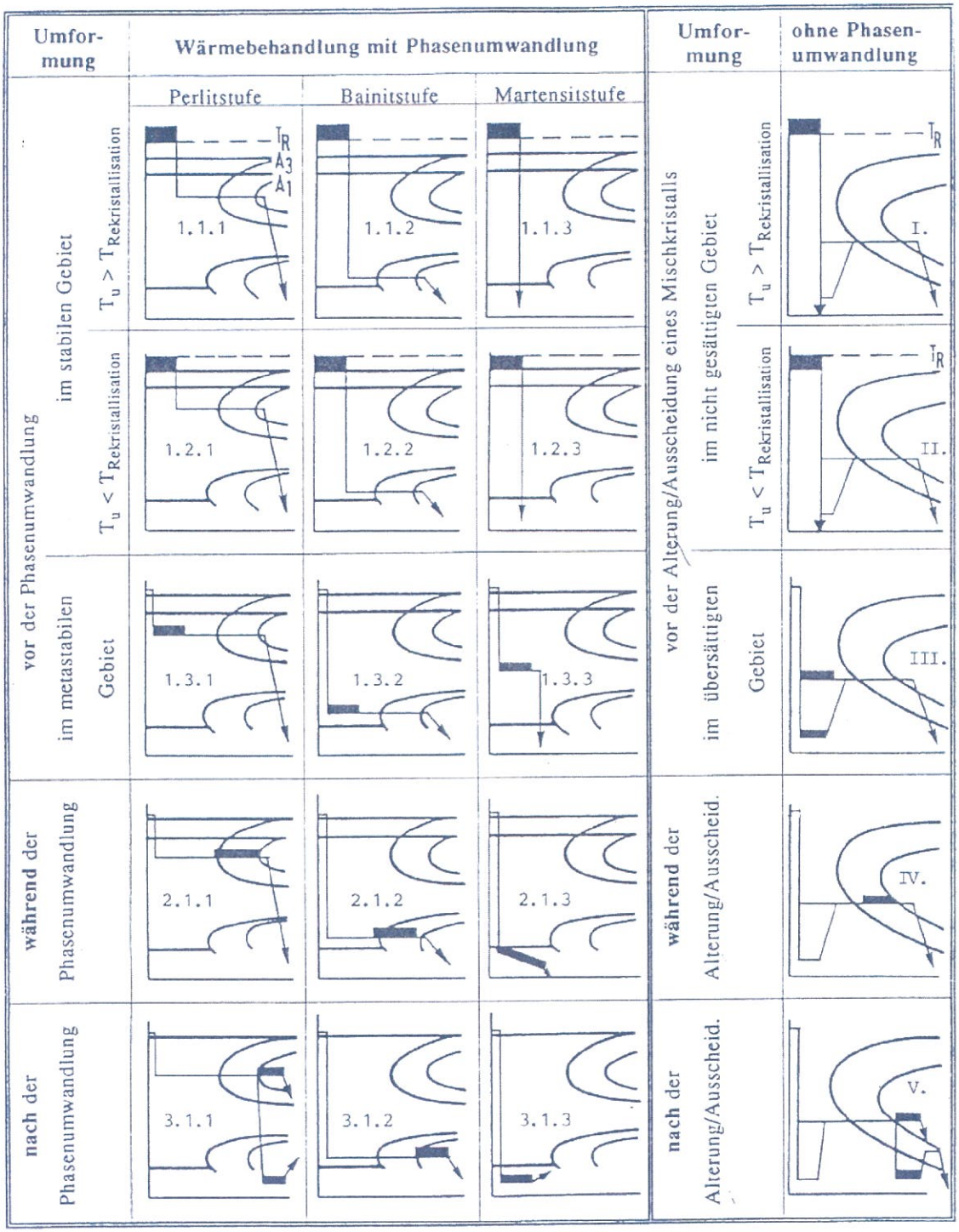
Miskolc, 2012. november 19.

Dr. Tranta Ferenc
műszaki tudomány kandidátusa

Melléklet: 1 db

1. melléklet

Thermomechanische Behandlung von Maschinenbaustahlen
HTM 48 (1993) 4. 228-235. (Carl Hanser Verlag, München.



T_u = Temperatur während der Umformung

Bild 4. Klassifizierung der thermomechanischen Behandlung [4]

Fig. 4. Classification of the thermomechanical treatment [4]