Fázisátalakulások és belső feszültségek

Johanyák Edit

A dolgozat bemutatja a belső feszültségek keletkezésének okait, különös tekintettel azokra, amelyek acélok hőkezelésekor maradnak a munkadarabban, valamint rámutat néhány olyan külső és belső befolyásoló tényezőre, amely nagymértékben meghatározza a munkadarabban visszamaradó feszültségek nagyságát és milyenségét.

A szerkezetek és gépek tervezésekor nagyon fontos, hogy kellő figyelmet szenteljenek a belső feszültségek jelenlétére, mert ezek ismeretében pontosabban lehet méretezni, nő a biztonság és csökken az anyagfelhasználás. A belső feszültségek a munkadarabot járulékosan terhelik. A külső és belső feszültségek összeadódnak és az eredő feszültségi állapot határozza meg a munkadarab igénybevételét, alakváltozását, fizikai vagy kémiai tulajdonságait. A belső feszültségek általában több tengelyűek, ami elősegíti a ridegtörésre való hajlamot.

Bizonyos hőkezelési eljárásokkal szándékosan keltünk nagy belső feszültséget a munkadarabban, mert ezek kedvező eloszlása esetén növelhető a terhelhetőségük (pl. betétedzés, karbonitridálás, más felületi kezelések, felülettömörítő alakítási eljárások ennek következtében növelik a kifáradási határt.) [1]

Hőkezelés közben mindig keletkeznek belső feszültségek, amelyek gyakran méretváltozást okoznak, ezért fontos ismerni a belső feszültségek keletkezésének okait és azokat a tényezőket, amelyek befolyásolják azt. Az 1. ábrán látható az alkatrész használati tulajdonságait befolyásoló tényezők kapcsolatrendszere hőkezeléskor [1].

1. ábra

Ha a darabban kis belső feszültségek ébrednek, ezek nem okozzák a darab méretváltozását, alakváltozását, ezek azonban megmaradnak a darabban, maradó feszültségként. Az ilyen munkadarab egy részének lemunkálása után az egyensúlyi állapot megbomlik és a darab vetemedik. Hőkezelés folyamán a munkadarabokban ébredő feszültségek keletkezésük alapján kétfélek lehetnek: hőfeszültségek és átalakulási feszültségek.

A *hőfeszültségek* a hőtágulás következményei. A fémek anyagok sűrűsége a hőmérséklettel változik, ezért az egész tömegében nem egyenletesen hevített vagy hűtött munkadarabban belső feszültségek ébrednek.

A visszamaradó feszültségek számítására többféle módszert is alkalmaznak, amelyek a darabban a hűtés során végbemenő folyamatok leírásán alapulnak.

Az 2. ábra egy 35 mm-es szobahőmérsékleten is ausztenites henger axiális hőfeszültségének változását mutatja az idő függvényében, vízhűtés esetén. Mivel a darabban térfogatváltozást előidéző átalakulás nem játszódik le, a hűtés kezdeti fázisában a kéregben (felületen) húzófeszültségek jelentkeznek és a magban pedig nyomófeszültségek ébrednek. Ezek a feszültségek meghaladják az anyag folyáshatárát és a kéreg a maghoz képest megnyúlik (megfolyik). Ahogy a hőmérséklet a kéreg és a mag között kezd kiegyenlítődni a hőfeszültségek lecsökkennek de értékük nem lesz nulla. Mivel a kéreg a maghoz képest megnyúlt magas hőmérsékleten, a következmény az lesz, hogy szobahőmérsékleten a kéregben nyomó-, a magban pedig húzófeszültség fog visszamaradni. A hőfeszültségek nagysága függ az anyag hőtágulási együtthatójától, a darab méretétől és a hőmérséklet gradienstől.

Átalakulási feszültségek

Szilárd halmazállapotú átalakulások (fázisátalakulások)

típusai: - Az egyik fázis úgy alakul át más fázissá, hogy összetétele ugyanaz marad: martenzites átalakulás.

- Új fázis alakul ki, amely összetételében és

szerkezetében eltér az eredeti fázistól, az eredeti fázis is megmarad: kiválasztási reakciók.

- Egy fázis két új fázissá alakul át, és mind a kettő összetétele eltér az eredetitől: eutektoidos átalakulás.

- Egy szilárd és egy gáznemű anyag reakciójából keletkező új fázis amely megváltoztatja a szilárd test összetételét.

Az átalakulási feszültségek annak következtében keletkeznek, hogy a különböző fázisoknak más és más a sűrűségük. Például edzés folyamán az acélban $\gamma \rightarrow \alpha'$ átalakulás megy végbe, tehát az ausztenit átalakul

2. ábra

3. ábra

4. ábra

martenzitté. Minden karbontartalmú vasötvözet fajtérfogata ausztenites állapotban a legkisebb, perlites állapotban nagyobb és martenzites állapotban a legnagyobb. Tehát edzéskor az acél fajtérfogata növekszik, amely növekedést az okozza, hogy a rácsátalakulás következtében a karbon atomok interszticiósan benntartódnak a rácsban, gyors hűtés miatt diffúziómentes a folyamat és ezek az atomok feszítik a rácsot.

A 3. ábrán látható, hogy 20 mp-nél a martenzites átalakulás okozta feszültségcsúcs ébred. Ezen átalakulás következtében a folyási feszültség a felületen (kéregben) nagymértékben megnő, az ausztenites szövetszerkezetű maghoz képest. Másrészt ez a plusz térfogatbeli változás a magnak képlékeny hossznövekedését eredményezi a kéreghez képest. Továbbá látható, hogy 40 mp-nél a martenzites átalakulás megkezdődik a magban is ami méretnövekedéssel jár, tehát a mag mérete növekszik és a magban a húzófeszültségek csökkennek. A magnak magas hőmérsékleten végbement képlékeny növekedése a kéreghez képest 20 °C - on a magban nyomó maradót, a kéregben pedig húzó maradót feszültséget eredményez. Ez az axiális maradót feszültségek egy tipikus eloszlását mutatja 30 mm átmérőjű teljesen átédzett darabban, a 4. ábrán látható hűtésnek megfelelően. [1]

Az ötvöztelen acélok magasabb hőmérsékleten alakulnak át. Itt az acél képlékenyebb, a fázisátalakulás okozta feszültségek nagy része alakváltozással ki tud egyenlítődni. Az Ms-Mf hőmérséklet függ az acél karbontartalmától. A feszültségi állapot a fentiektől eltérően alakul, ha a munkadarab felületi rétege dekarbonizálódott vagy cementálódott (eltérő hőtágulási együttható és Ms hőmérséklet).

Amennyiben egy 200 mm-es acélhengeren 20%-os előzetes képlékeny alakváltozást idézünk elő, az edzés után visszamaradó, tengelyirányú feszültségek alakulását összevetve az alakítatlan edzett henger feszültségeloszlásával, lényeges különbségeket észlelünk [2]. Ezt szemlélteti az 5. ábra.

5. ábra

1. alakítatlan edzett
 2. alakított edzett
- Hűtési sebesség 0.02 fok/mp
3. alakítatlan edzett
- Hűtési sebesség 0.057 fok/mp.

Az acél átalakulási diagramjából jól kivehető, hogy alakítatlan esetben (folytonos vonal) a 0.02fok/mp hűtési sebesség esetén a perlites szövet megjelenik a darabban, míg az alakított darabban (szaggatott vonal) bénites átalakulás megy végbe, tehát a feszültségcsúcs nagyobb lesz.

Régebben a maradót feszültségek és a vetemedés tanulmányozását túlnyomórészt kísérleti úton végezték, amely módszerek sok időt és munkabefektetést igényeltek. Ezáltal nagyon nehéz volt a különböző befolyásoló tényezők hatásának az előrejelzése mivel ez a tanulmányozás eredményén alapult. Ezzel szemben a számítógépes módszerek lehetővé teszik, hogy a befolyásoló tényezők változásának figyelembevételével tanulmányozzuk a folyamatot, előre jelezve ezek hatását. Ehhez ismernünk kell az illető anyag tulajdonságait a kezdeti szakaszban, valamint a peremfeltételeket. Amint láttuk az acél alkatrészek

edzésekor fázisátalakulások játszódnak le a darabban. A hőmérséklet változás hatására végbemenő térfogati tágulások, valamint az ezt követő átalakulások figyelembe vételével modellezni lehet az edzési folyamatokat [3]. A modellezéshez szükséges a hőmérséklet-, feszültségeloszlás és az átalakulás tanulmányozása. Hengeres alkatrészek méretének belső feszültséget befolyásoló hatását vizsgálja, valamint az átalakulás folyamatát közelítő egyenlettel leírja Toshioka [4].

Hőeloszlás az acélhengerben edzés alatt:

$$T_r = T_0 + B\left(\frac{r}{R}\right)^2 \tag{1} [4]$$

- T_0 - hőmérséklet a henger közepén (°C)
- T_r - hőmérséklet a henger közepétől r távolságra (°C)
- B - hőmérséklet gradiens tényező
- $(r/R)^2$ - pozícióparaméter

Az átalakulás folyamata:

$$\epsilon = \Delta\epsilon \left\{ 1 - \left(\frac{T - T_f}{T_s - T_f} \right)^2 \right\} \tag{2} [4]$$

- ϵ - alakváltozás edzés közben (mm/mm)
- $\Delta\epsilon$ - az átalakulást követő összes alakváltozás (mm/mm)
- T_s - a martenzites átalakulás kezdeti hőmérséklete (°C)
- T_f - a martenzites átalakulás végső hőmérséklete (°C)

Az edzési folyamatok számítógépes modellezésével kapcsolatban számos kutatási eredmény áll rendelkezésre. A vizsgálatok különböző hőkezelési eljárások különböző összetételű, alakú és méretű darabok esetén mutatják be a végső szövetszerkezet kialakulását, a belső feszültségek eloszlását a darabban és a deformáció, vetemedés mértékét [2][3][5]. A következő ábra mutatja edzés során a fizikai mennyiségek és szövetszerkezeti változások kapcsolatát:

- 1. hőfeszültségek,
- 2. a deformáció eredményezte hőtermelések,

3. hőfokfüggő fázisátalakulások,
4. fázisátalakulás eredményezte hőtermelések,
5. fázisátalakulás eredményezte térfogati tágulások,
6. feszültségfüggő fázisátalakulások.

Az elemzések figyelembe veszik a hőmérséklettől és a szerkezettől való függőséget, valamint a hőtermeléseket is. A deformációt követő hőtermelés egyes irodalmak szerint elhanyagolható [2].

A GAMF Mechanikai Technológiai Tanszéke több éve foglalkozik szerkezeti és szerszámacélok edzési méretváltozásának vizsgálatával. Az elvégzett kísérletek eredményei [6] is azt mutatják, hogy a méretváltozás, vetemedés, feszültségek - az átalakulási viselkedéseken, a szövetszerkezeti változásokon keresztül - csak bonyolult egymásra hatással, kapcsolatrendszerben kezelhetők, figyelembe véve a munkadarab használati tulajdonságait is. A doktori kutatásom része a belső feszültségek tanulmányozása, az edzési méretváltozások előrejelzése. Napjainkban már elterjedtek azok a végeselemes számítógépes programok, amelyek segítségével meghatározható a fázisátalakulás okozta feszültségek eloszlása, azonban a modellezés során nehézségek adódnak az említett bonyolult kapcsolatrendszer, valamint a befolyásoló tényezők hatásának leírásában. Tehát munkám során próbálkozom bevinni a modellezésbe a lehető legtöbb befolyásoló tényező által kifejtett hatást, mert ezáltal a számított valamint a kísérlettel kapott eredmények között kisebb lesz az eltérés és lehetővé válik a méretváltozás pontosabb előrejelzése.

Felhasznált irodalom:

- [1] STEEL: A handbook for Materials Research and engineering
- [2] S. Kamamoto, T.Nishimori, S.Kinoshita: Analysis of residual stress and distortion resulting from quenching in large low-alloy steel shafts. Material Science and Technology, October 1985 Vol. 1.
- [3] D. Pont, J.M. Bergheau: Numerical determination of residual stresses induced by laser surface treatments. Institut de Soudure, France.
- [4] Toshioka Y.: Calculation of Internal Stress of Steel Induced during Quenching. Transactions ISIJ, vol.12, 1972
- [5] S. Ray: Study of residual stresses in welding. Indian Welding Journal, 1984 IV/2/16.
- [6] Fazekasné dr. Berta Mária, Johanyák Edit: Méretváltozás edzésnél microCAD 94 Informatikai Nemzetközi Konferencia, Miskolc 1994, Konferencia Kiadvány, 9-17 old.

Johanyák Edit tud. s. munkatárs

Gépipari és Automatizálási Műszaki Főiskola

Mechanikai Technológiai Tanszék

6000 Kecskemét, Izsáki út 10, Magyarország Tel.: 00 36 76 481291, Fax: 00 36 76 481304