XV. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2010. március 25-26.

A LEMEZBUGÁK FELÜLETÉN KIALAKULÓ FESZÜLTSEGEK ÉS ALAKVÁLTOZÁSOK BECSLÉSE

RÉGER Mihály

Abstract

The connection between the stresses and strain developing in the surface area of solidifying steel slab can be described partly by elastic and partly by plastic material laws. It is necessary to know the elastic modulus for calculating the elastic strain, but it depends sharply on temperature. For the phenomenological description of creep processes (primary and secondary) three types of differential equations are discussed. Under continuous casting conditions creep processes governed and constrained by the strain rate are characteristic. By the models discussed in the paper the stresses in the surface area of the slab can be estimated and – knowing the crack formation criteria – the appearance of surface cracks can be predicted.

Keywords:

surface cracks, creep, continuous casting, crack formation criteria

Összefoglalás

A lemezbuga kristályosodása során a szilárd kéregben kialakuló alakváltozások és feszültségek közötti kapcsolatot részben a rugalmas, részben a képlékeny alakváltozásra érvényes összefüggések adják meg. Adott feszültség esetén a rugalmas alakváltozás mértéke a rugalmassági modulusz segítségével határozható meg, ennek értéke erőteljesen függ a hőmérséklettől. A primer és szekunder kúszás folyamatának együttes, formális leírására dolgozat három egyenlet típust ismertet. A folyamatos öntés viszonyai között az alakváltozás vezérelt kúszási folyamatok jellemzők. A bemutatott modellek alapján a lemezbuga felület közeli részén kialakuló feszültségek becsülhetők, mely lehetőséget ad – a repedésképződési kritérium ismeretében – a felületi repedések kialakulásának előrejelzésére.

Kulcsszavak:

felületi repedés, kúszás, folyamatos öntés, repedési kritérium

1. Bevezetés

A lemezbuga kristályosodása során a szilárd kéregben kialakuló alakváltozások és feszültségek közötti kapcsolatot részben a rugalmas, részben a képlékeny alakváltozásra érvényes összefüggések adják meg. A rugalmas alakváltozás a Hooke törvény, a maradó alakváltozás pedig a kúszási egyenletek alapján vehető figyelembe. Adott feszültség esetén a rugalmas alakváltozás mértéke a rugalmassági modulusz segítségével határozható meg, ennek értéke erőteljesen függ a hőmérséklettől. Az [1] szerinti tanulmányban részletesen foglalkoztunk a rugalmassági modulusz hőmérsékletfüggésének kérdésével és a következő, Mizukami [2] nevéhez fűződő összefüggés alkalmazását javasoltuk a [3] tanulmányban foglalt elemzések alapján:

$$E = 1000 \cdot (968 - 2.33 \cdot T + 0.0019 \cdot T^2 - 0.000000518 \cdot T^3) , \quad (2.1)$$

ahol az E a rugalmassági modulusz MPa-ban, a T hőmérséklet °C-ban értelmezett.

A primer és szekunder kúszás folyamatának együttes, formális leírásának lehetőségeit elemzi Kozłowski [3]. Hat egyenlet típust ismertet, illetve hasonlít össze, nemcsak az eredmények megbízhatósága, hanem az egyenletek numerikus módszerekben való alkalmazhatóságának szempontjából is.

Az előzetes számítások rávilágítottak arra, hogy a sinh függvényt alkalmazó 1B és 1C, valamint a 4-es modell az egyszerűbb modellekhez képest instabilabb viselkedésű, vagyis a véges elemes, vagy véges differencia számítási módszerekben alkalmazásuk sokkal finomabb hely és időfelbontást igényel. Jelen tanulmányban a kúszási folyamat leírására így az 1A, 2 és 3 módszer egyenleteit használtuk fel.

A modellben alkalmazott egyenletek és paraméterek a következők:

1 modell:

$$\dot{\varepsilon} = C \cdot \exp\left(\frac{-Q}{T}\right) \cdot \sigma^n , \quad (2.2)$$

ahol

$$C = 24233 + 49973 \cdot (\text{Cwt}\%) + 48757 \cdot (\text{Cwt}\%) \cdot (\text{Cwt}\%)$$

$$Q = 49480$$

$$n = 5.331 + 0.004116 \cdot T - 0.000002116 \cdot T \cdot T$$

2 modell:

$$\dot{\varepsilon} = C \cdot \exp\left(\frac{-Q}{T}\right) \cdot \sigma^n \cdot t^m , \quad (2.3)$$

ahol

$$C = 0.3091 + 0.209 \cdot (\text{Cwt}\%) + 0.1773 \cdot (\text{Cwt}\%) \cdot (\text{Cwt}\%)$$

$$Q = 17160$$

$$n = 6.365 - 0.004521 \cdot T + 0.000001439 \cdot T \cdot T$$

$$m = -1.362 + 0.0005761 \cdot T + 0.00000001982 \cdot T \cdot T$$

3 modell:

$$\dot{\varepsilon} = C \cdot \exp\left(\frac{-Q}{T}\right) \cdot \left[\sigma - a_\varepsilon \cdot \varepsilon_p^{n_\varepsilon} \right]^n , \quad (2.4)$$

ahol

$$C = 46550 + 71400 \cdot (\text{Cwt}\%) + 12000 \cdot (\text{Cwt}\%) \cdot (\text{Cwt}\%)$$

$$Q = 44650$$

$$n = 8.132 - 0.00154 \cdot T$$

$$a_\varepsilon = 130.5 - 0.005128 \cdot T$$

$$n_\varepsilon = -0.6289 + 0.001114 \cdot T$$

ε_p = a már létrejött képlékeny alakváltozás mértéke.

Az egyenletekben a (Cwt%) az acél karbontartalma tömegszázalékban kifejezve, a T pedig a hőmérséklet, Kelvin fokban megadva. A Q a modellben a tradicionális jelöléssel szemben az un. „aktivációs energia konstans” (valójában az aktivációs energia és a gázállandó hányadosa), mértékegysége szintén Kelvin. A fenti megközelítéseket alkalmazva olyan számítási algoritmust dolgoztunk ki, mely az egy időszakaszban kialakuló feszültség meghatározásában figyelembe veszi az előző időlépésben már létrejött képlékeny alakváltozás hatását.

1. ábra A belső és külső hőmérséklet alakulása egy jellegzetes öntési folyamatban

2. ábra A kényszer és a megvalósult alakváltozás sebesség az idő függvényében

3. ábra A kényszer és a megvalósult alakváltozás mértéke az idő függvényében

4. ábra A három modell alapján becsült feszültségi értékek az öntési idő függvényében

2. A kúszási modellek alkalmazás a folyamatos öntés viszonyaira

Az előző fejezetekben bemutatott számítási módszerek – természetesen bizonyos korlátozásokkal – alkalmazhatók a lemezbugák felületén kialakuló feszültségi és alakváltozási viszonyok jellemzésére. A lemezbuga felületét ciklikus termikus hatások érik, mely elsősorban a felületen működő hűtőhatásból, illetve az azt követő visszamelegedésből jön létre. A felület lehűlése során a felületi rész termikus zsugorodását az alatta (a buga belseje irányában) lévő anyagrész akadályozza, ennek eredményeként a fe-

lületen húzófeszültség alakul ki. A feszültség eredményeként az adott hőmérsékleti viszonyoknak megfelelő kúszás jön létre, ez természetesen csökkenti az aktuális feszültségi szintet. A visszamelegedéskor hasonló, de fordított a helyzet, a felületi rész termikus tágulását az alatta lévő anyagrész gátolja, ez nyomófeszültséget, illetve ismételt kúszási alakváltozást generál. Ebben a megközelítésben feltételezzük, hogy a vastagság irányú feszültségek elhanyagolhatók a laterális (öntési és arra merőleges irányú felülettel párhuzamos) feszültségekhez képest.

Egy tipikus, az ISD Dunaferri Dunai Vasmű Zrt. vertikális öntőgépén megvalósított öntési esetben a felület és a belső szilárd rész közötti hőmérséklet különbséget az 1. ábra mutatja. A zsugorodások, tágulások és a kúszási előtörténet figyelembevétel számított kényszer alakváltozás függvényét az 2. ábra fekete görbéje reprezentálja. A kényszer alakváltozásra adott, különböző modellek (1A, 2, 3) szerint számított tényleges alakváltozási válasz mutatják a színes görbék. A kényszer alakváltozás természetesen kényszer alakváltozási sebességet is generál. A kényszer alakváltozási sebességre adott válaszfüggvények összességében a 3. ábrán tekinthetők át. A képlékeny alakváltozás megvalósulása közben kialakuló, a különböző modellekkel becsült feszültségek a 4. ábrán láthatók. E függvényeket – a jobb láthatóság érdekében – a teljes öntési folyamatnak csak egy rövid szakaszára mutatjuk be.

4. Összefoglalás

A kúszási modell folyamatos öntési esetekre való alkalmazásával a lemezbugán egy adott (széles oldali) felületi pont vonatkozásában meghatározható az öntési folyamat során az arra a pontra jellemző, a fentiekben ismertetett feltételrendszerben kialakuló alakváltozási sebesség, alakváltozási mérték és feszültség az idő - illetve állandósult állapotú öntést feltételezve közvetlenül -, a meniszkusz szinttől való távolság függvényében.

Irodalom

- [1] Réger M., *Összefoglaló az ötvözetlen és gyengén ötvözött acélok szolidusz közeli mechanikai tulajdonságairól*, Kutatási jelentés, Dunaferri, 2001
- [2] Mizukami et al., *Tetsu-to-Hagané*, 1977, Vol. 63 (146) p. S-652
- [3] Kozlowski, P.F. et al., *Simple Constitutive Equations for Steel at High Temperature*, Met. Trans. A, Vol. 23A, March 1992, pp. 903-918

dr. Réger Mihály, főiskolai tanár
Munkahely: Óbudai Egyetem, BGK Anyag és Gyártástechnológiai Intézet
Cím: 1081 Budapest, Népszínház u. 8.
Telefon: 36-16665430
Fax: 36-16665423
E-mail: reger.mihaly@bgk-uni.obuda.hu