

SPREMLJANJE STRJEVANJA ŽELEZOVIH LITIN Z DILATOMETRIJO

INVESTIGATION OF CAST IRON SOLIDIFICATION WITH DILATATION ANALYSIS

Primož Mrvar, Milan Trbižan, Jožef Medved

Naravoslovnotehniška fakulteta-OMM, Lepi pot 11, 1000 Ljubljana

Prejem rokopisa - received: 1998-11-10; sprejem za objavo - accepted for publications: 1998-12-03

Raziskava obravnava dilatometrijsko analizo strjevanja železovih litin. Izdelali in preverili smo računalniško podprt dilatometer. Rezultate meritev dilatacij in temperatur v odvisnosti od časa, kot tudi dilatacije v odvisnosti od temperature, smo prikazali na dilatogramih. Preiskovali smo sivo litino z lamelnim in s kroglastim grafitom. Preverjanje je potekalo s primerjavo dilatogramov v povezavi s termično in metalografsko analizo. Z dilatogrami in diferenciranimi dilatometrijskimi krivuljami stabilno strjenih litin je bilo mogoče natančno spremljati izločanje grafita kot samostojne faze, tako pri evtektski kot pri evtektoidni premeni. Uporabno vrednost daje metodi predvsem podatek o razvoju grafita pri evtektoidni premeni, iz katerega lahko ugotavljamo razmerje med perlitom in feritom v mikrostrukturi nodularne litine. Taka preiskava staljene litine bi v praksi omogočila korekturo sestave taline še pred ulivanjem.

Ključne besede: merjenje dilatacij, strjevanje, lito železo, mikrostruktura

The cast iron solidification and the dilatation analysis have been investigated. Computer-added dilatometer has been designed and verified into the practice. The results of measurements the dilatations in dependence of temperature and time are shown in dilatometric curves. The investigations have been taking place on the lamellate graphite and spheroidal graphite cast irons. The results have been verified by the thermal analysis and metallographic examinations. It is possible to detect exactly the precipitation of graphite as independent phase by eutectic solidification and eutectoid transformation. Therefore the information about the graphite growth in the eutectoid transformation has been enabled in order to find out the proportion between the perlite and ferrite phase in the matrix of the SG cast iron. Such investigation of melts would made possible the correction of the composition cast melt before the casting.

Key words: dilatation measurement, solidification, cast iron, microstructure

1 UVOD

Krčenje oziroma širjenje taline med strjevanjem povzroča dimenzijske spremembe. Posebno pri sivi litini, kjer se pojavlja poleg krčenja zaradi tvorbe dendritov tudi značilno širjenje zaradi izločanja grafita, daje sledenje koristne podatke o strjevanju litin.

S sodobno računalniško podprto merilno tehniko, ki je uporabniku prijazna in omogoča enostavno obdelavo in analizo meritev, je mogoče ugotavljati povezavo med potekom strjevanja in napajanjem. To je še posebno pomembno pri sivi litini s kroglastim grafitom, ki ima nesklopljeno strjevanje, kar pomeni, da se ena faza izloča neodvisno od druge, tako količinsko kot časovno. To daje majhen izkoristek tekoče litine, saj je treba ulitke dobro napajati.

2 ZGRADBA IN DELOVANJE DILATOMETRA ZA SPREMLJANJE STRJEVANJA

Izdelali smo dilatometer (**slika 1**) z merilno celico, narejeno po postopku Croning, ki je bila razvita iz standardnega lončka za termično analizo železovih litin. V celici (**slika 3**) sta somerno nameščeni dve kremenovi tipali, ki se gibljeta tako, kot se širi ali krči analizni vzorec. Tipali sta povezani z jedri induktivnih merilnikov pomika (W10, W20). V toplotnem centru, ki nastaja v sredini merilne celice, je termoelement.

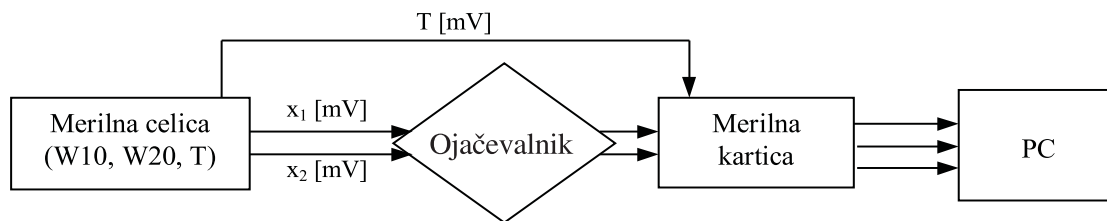
Induktivna merilnika pomika in termoelement so preko ojačevalnika povezani z merilno kartico DAQ PAD (National Instruments), ta pa z računalnikom (**slika 2**).

2.1 Obdelava in prikaz meritev

Merjenje poteka tako, da merilna kartica vsako sekundo opravi po dve meritvi pri vseh treh tipalnih (senzor W10 .. x_1 [mV], senzor W20 .. x_2 [mV] in termoelement .. T [mV]). Izmerjen potek dilatacijskih napetosti, dobljenih pri senzorjih W10 x_{1i} in W20 x_{2i} , merjeno v mV, se pretvori v dolžinsko enoto v razmerju, ugotovljenem pri umerjanju induktivnih merilnikov. Pretvorba mV v °C za termoelement NiCr-Ni tip K ni

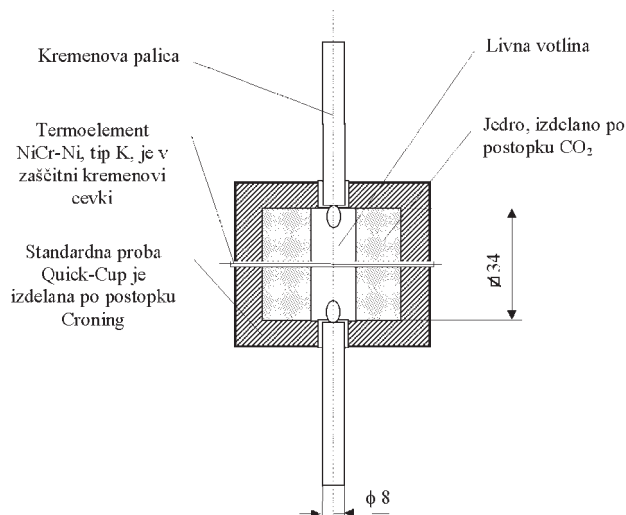


Slika 1: Merilna celica
Figure 1: The measuring cell



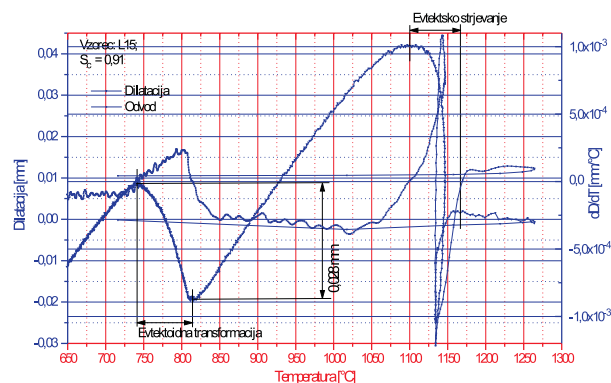
Slika 2: Shema dilatometra

Figure 2: The scheme of dilatometer



Slika 3: Shema merilne celice

Figure 3: The scheme of the measuring cell



Slika 5: Dilatacija feritne sive litine s kroglastim grafitom v odvisnosti od temperature in odvod dilatacijske krivulje (L15)

Figure 5: The dilatation of the ferrite spheroidal graphite cast iron in dependence of the temperature and the derivation curve (L15)

$$\frac{D_{pov}}{2} [mm] = \sum_{i=0}^k \frac{x_{1i}(mm) + x_{2i}(mm)}{2}$$

potrebna, ker jo avtomatično zagotavlja programski paket LabView.

V povprečju je bilo izvedenih 900 meritev na en vzorec. Tabelirane podatkovne sete smo prenesli v program Origin 3.5, kjer smo jih matematično obdelali. Srednja vrednost dilatacijskih krivulj $D_{pov} / 2$ je:

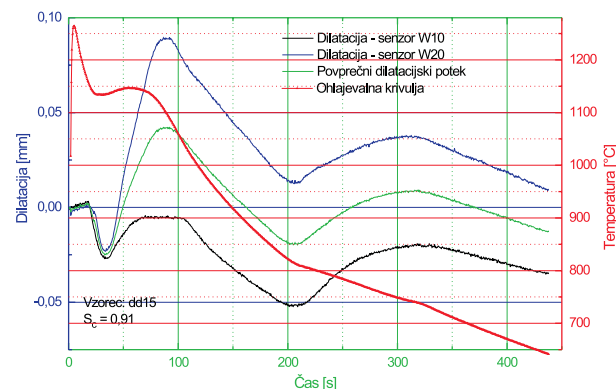
Slika 4: Dilatometrijske krivulje in ohlajevalna krivulja podevtske sive litine s kroglastim grafitom (dd15); S_c je stopnja nasičenja

Figure 4: Dilatometric curves and cooling curve of hypo-eutectic spheroidal graphite cast iron (dd15)

Rezultati meritev so predstavljeni na dilatogramih.

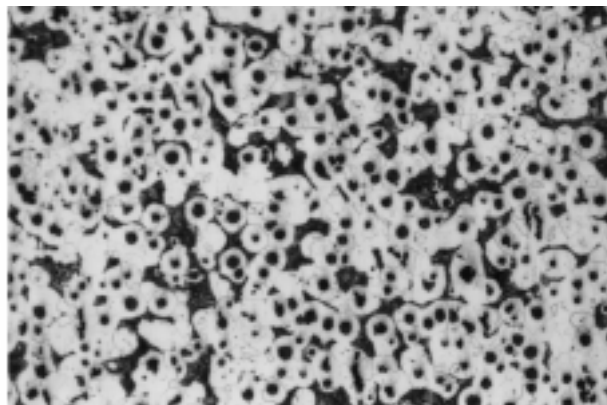
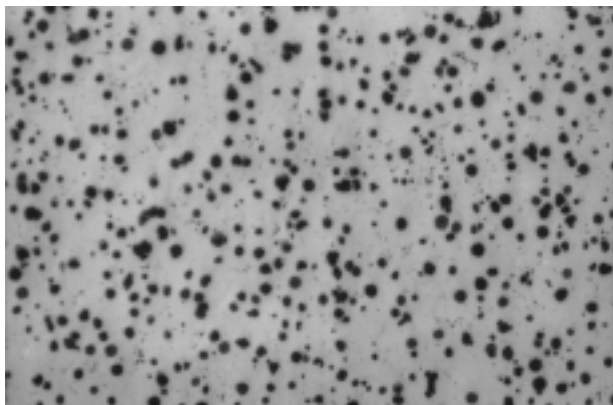
3 Rezultati in diskusija

Način merjenja je razviden z diagramov, ki prikazujejo tri dilatacijske krivulje in eno ohlajevalno. Na **sliki 4** je prikazan časovni potek dilatacij pri merjenju dimenzijskih sprememb med strjevanjem. Dobro je vidno časovno ujemanje izmerjenih dilatacij med senzorjema W10 in W20.

Dilatograma feritne sive litine s kroglastim grafitom sta prikazana na **slikah 4 in 5**. Posebej sta označena temperaturna intervala evtektkega strjevanja in evtektoidne transformacije. Vidi se, da strjevanje sive litine s kroglastim grafitom ni sklopljeno. Avstenitni dendriti in grafit kristalizirajo povsem neodvisno eden od drugega^{1,2}. Grafit se izloča iz taline neposredno in se obda z avstenitnim obročem, skozi katerega difundira ogljik. Grafit se nalaga na dendritnih konicah³. Nato poteka strjevanje sklopljeno. Količinsko razmerje avstenit/grafit ni konstantno, tako da tudi v primeru, ko je sestava evtektična, strjevanje zaznamuje začetno krčenje zaradi izločanja avstenita in nato širjenje zaradi izločanja grafita. Po končanem evtektskem strjevanju

Tabela 1: Kemijska sestava in stopnja nasičenja S_C preiskovanih litinTable 1: Chemical composition and saturation degree S_C of the investigated casts

vzorec	%C	%Si	%Mn	%S	%Cr	%Cu	%P	%Mg	S_C
dd15	2,823	3,646	0,170	0,013	0,062	0,120	0,018	0,024	0,91
L37	3,167	2,643	0,281	0,019	0,066	0,141	0,037	0,029	0,92
L36	3,664	1,693	0,243	0,015	0,035	0,048	0,021	0,002	0,99



Slika 6: Grafit v sivi litini s kroglastim grafitom (L15), $S_C = 0,91$; a) polirano, povečava 100-krat, grafitni noduli, b) jedkano z nitalom, povečava 100-krat, mikrostruktura matrice feritne sive litine s kroglastim grafitom, ob grafitu ferit, perlit

Figure 6: Graphite in spheroidal graphite cast iron (L15), $S_C = 0,91$; a) polished, 100x, graphite spheroids, b) nital etching, 100x, microstructure of the matrix ferrite SG-iron, graphite spheroids surrounded by ferrite, perlite

sledi linearno krčenje, ki traja do temperature začetka evtektoidne premene.

Evtektoidna transformacija avstenita lahko poteka po stabilni reakciji v ferit in grafit ($\gamma \rightarrow \alpha + \text{grafit}$) ali po metastabilni v perlit ($\gamma \rightarrow \alpha + \text{Fe}_3\text{C}$). Temperatura A_1 je za stabilno evtektoidno reakcijo višja kot za metastabilno oz. perlitno. Tako je količina oz. razmerje ferit/perlit v mikrostrukturi odvisno od obsega ene ali druge reakcije⁴.

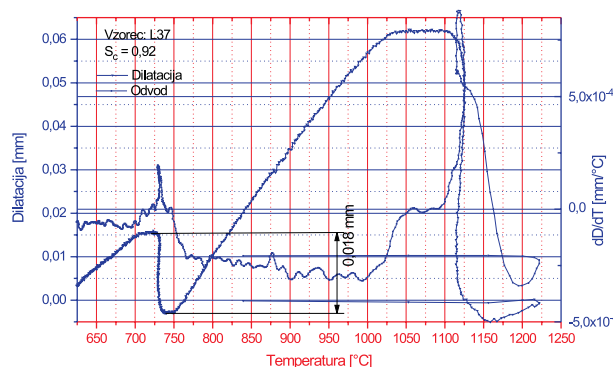
Evtektoidna transformacija feritne sive litine s kroglastim grafitom (dd15) je potekla pri razmeroma visoki temperaturi (810 do 738°C). Spremljalo jo je širjenje zaradi izločanja evtektoidnega grafita. Izmerjeno širjenje zaradi stabilne evtektoidne reakcije vzorca dd15 (**slika 5 in 6**) feritne sive litine s kroglastim grafitom je 0,028 mm, širjenje pretežno perlitne sive litine s kroglastim grafitom L37 (**slika 7 in 8**) je manjše in je 0,018 mm. Temperaturni interval transformacije vzorca L37 je od 747 do 717 °C. Izgleda, da je delež ferita v mikrostrukturi v linearni zvezi s širjenjem pri evtektoidni premeni.

Siva litina z lamelnim grafitom (slika 9, 10) kristalizira v obliki evtektskih celic. Grafit in avstenit kristalizirata povsem sklopljeno in sta v neposrednem stiku s talino. Zaradi tesne sklopljenosti pri evtektski kristalizaciji je krčenje avstenita kompenzirano s širjenjem zaradi izločanja grafita^{1,5}. Kot je razvidno z diagrama na **sliki 9**, je evtektsko strjevanje določeno s položaji vrhov derivacijske krivulje. Izmerjeno širjenje, ki zaznamuje evtektsko strjevanje, je tako posledica

prostorninsko prevladujočega delovanja grafita nad avstenitom v osannitu.

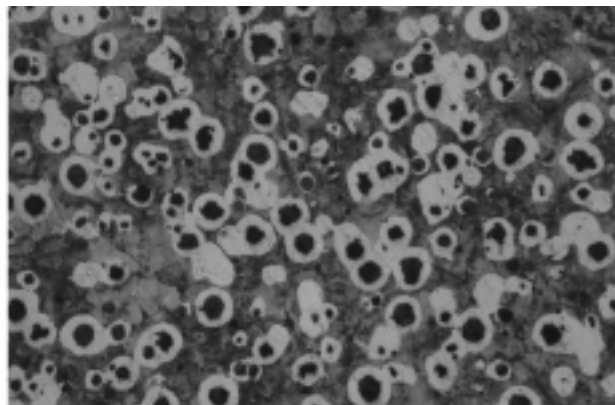
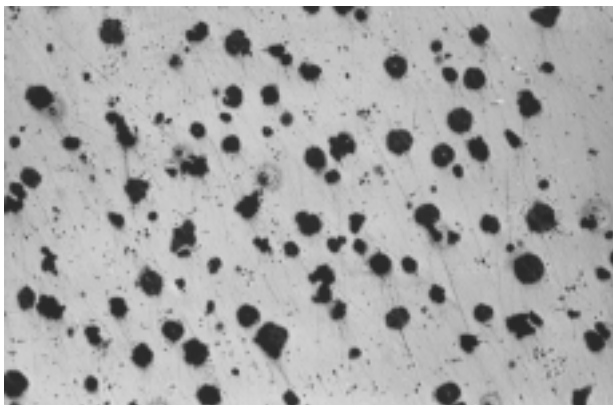
Tudi pri sivi litini z lamelnim grafitom je v področju evtektoidne transformacije zaznati širjenje, kar je v skladu s pretežno feritno osnovno strukturo (**slika 10**). Navadno ima siva litina z lamelnim grafitom perlitno osnovno strukturo. Ferit v litini vzorca L15 je posledica nizkih vsebnosti elementov, ki stabilizirajo perlit (Mn, Cu).

Tudi v makroskopskem pogledu se strjevanje sive litine z lamelnim grafitom razlikuje od strjevanja tiste s kroglastim grafitom. Evtektična siva litina z lamelnim grafitom kristalizira lupinasto. Med strjevanjem



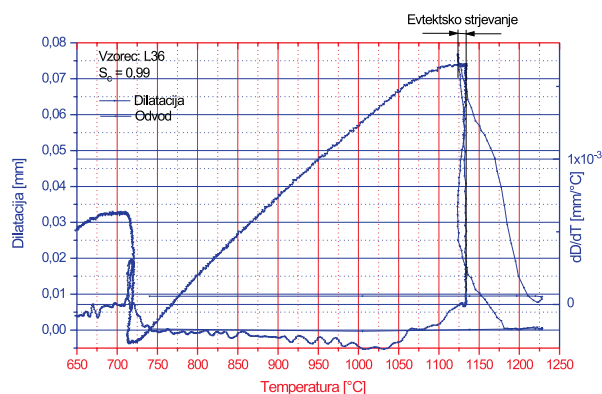
Slika 7: Dilatacija perlitne sive litine s kroglastim grafitom v odvisnosti od temperature in odvod dilatacijske krivulje (L37)

Figure 7: The dilatation of the perlit spheroidal graphite cast iron in dependence upon the temperature and the derivation curve (L37)



Slika 8: Grafit v nemodificirani sivi litini s kroglastim grafitom (L37), $S_C = 0,92$; a) polirano, povečava 100-krat, grafitni noduli, b) jedkano z nitalom, povečava 100-krat, mikrostruktura matrice pretežno perlitne sive litine s kroglastim grafitom

Figure 8: Graphite in the unmodified spheroidal graphite cast iron (L37), $S_C = 0,92$; a) polished, 100x, graphite spheroids, b) nital etching, 100x, microstructure of matrix mostly perlite SG-iron



Slika 9: Dilatacija sive litine z lamelnim grafitom v odvisnosti od temperature in odvod dilatacijske krivulje (L36)

Figure 9: The dilatation of flake graphite cast iron in dependence upon the temperature and the derivation curve (L36)

nastajajoče evtektične celice tvorijo skorjo. Siva litina s kroglastim grafitom kristalizira kašasto, skorja se komaj

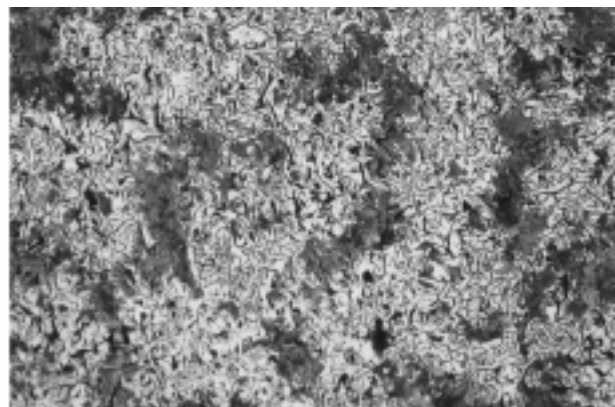
izoblikuje, talina, ki se strjuje lahko izvaja pritisk na stene forme. K temu prispeva tudi dendritni skelet, ki se širi zaradi izločanja grafita. Za prakso je zato pomembno, da je forma čim bolj toga, da se ne podaja pri pritisku med strjevanjem. Pri podajanju sten forme se potreba po napajanju poveča^{1,6}.

4 SKLEPI

Z dilatometrijo je mogoče spremljati strjevanje litin.

Z dilatometrijskih krivulj sive litine s kroglastim grafitom je razvidno, da evtektsko strjevanje poteka nesklopljeno, strjevanje sive litine z lamelnim grafitom pa sklopljeno.

Uporabno vrednost daje možnost spremljanja razvoja grafita pri evtektoidni premeni. Iz velikosti širjenja pri evtektoidni premeni je mogoče že v sedmih minutah oceniti delež ferita v mikrostrukturi. To je pomembno predvsem pri sivi litini s kroglastim grafitom, katere mehanske lastnosti so odvisne predvsem od matrice in ne



Slika 10: Grafit v nemodificirani sivi litini z lamelnim grafitom (L36), $S_C = 0,99$; a) polirano, povečava 100-krat, lamelni in rahlo vermikularni grafit, b) jedkano z nitalom, povečava 100-krat, mikrostruktura matrice sive litine z lamelnim grafitom, ob grafitu ferit in perlit

Figure 10: Graphite in unmodified flake graphite cast iron (L36), $S_C = 0,99$; a) polished, 100x, flake graphite and partly vermicular graphite, b) nital etching, 100x, microstructure of the matrix flake graphite cast iron, along graphite ferrite and perlite

toliko od velikosti in razporeditve grafita, kot je to pri sivi litini z lamelnim grafitom.

5 LITERATURA

- ¹ R. Hummer: Feeding Requirements and Dilatation During Solidification of Spheroidal Cast Iron - Conclusion for Feeder Dimensioning, *Gießerei-Praxis* (1985) 17/18, 241-254
- ² R. Hummer: Melt Analysis, Advanced Casting and Solidification Technology 1994, COST 504, Espoo, Finland, (1994) 223-249
- ³ D. K. Banerjee, D. M. Stefanescu: Structural Transitions and Solidification Kinetics of SG Iron During Directional Solidification Experiments, Solidification and Properties of Cast Alloys, 61st World Foundry Congress, Beijing, China, (1995) 747-759
- ⁴ D. Venugopalan: *Metallurgical Transactions* 21A (1990) 913-918
- ⁵ C. Pelhan, S. Spaić, A. Rosina: *Livarski vestnik* 33 (1986) 3/4, 69-110
- ⁶ Y. Yang, J. Alhainen: Derivative Dilatation Analysis; a Promising Method for Quality Control of a SG Iron Melt, 60th World Foundry Congress, Finland, 42 (1993) 6-8