MTLP100 - Chauffage et trempe d'un barreau infini à section carrée

Résumé :

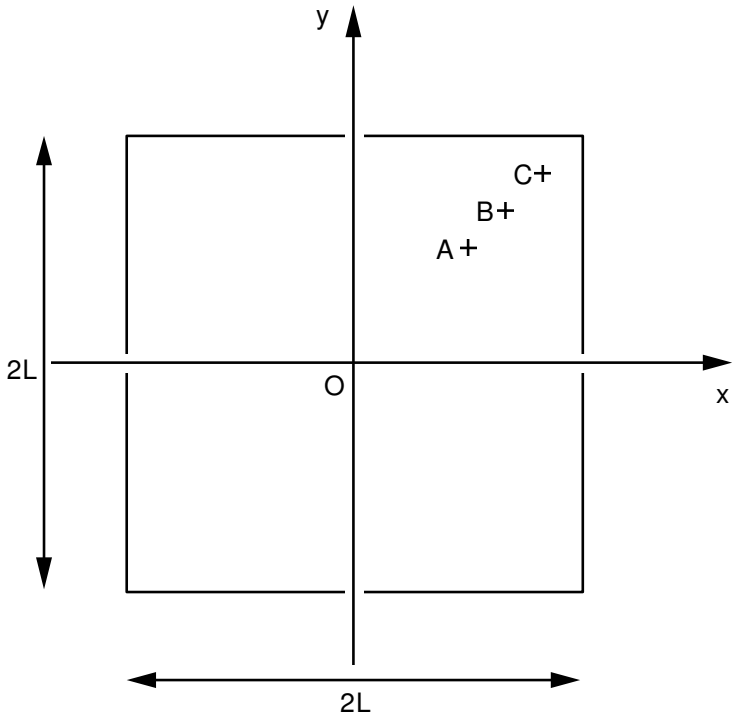
Ce test a pour but de fournir un calcul de métallurgie de référence, en post-traitement d'un calcul évolutif de thermique plane linéaire dont on connaît la solution analytique. Plus concrètement, ce test valide les calculs bidimensionnels de thermique linéaire avec des conditions d'échange et fournit des valeurs de référence pour le modèle de transformation austénitique au chauffage, ainsi que pour le modèle de décomposition de l'austénite au refroidissement.

On note que le programme permettant de saisir les diagrammes TRC pour produire la commande DEFI_TRC est jointe au cas-test dans le fichier mtlp100a.66:

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



Barreau infini à section carrée :

côté $2L = 0{,}10\,m$

Coordonnées des points (en mètres) :

	A	B	C	O
x	0.026	0.350	0.041	0.0
y	0.026	0.350	0.041	0.0

1.2 Propriétés du matériau

(Acier 16MND5)

$\rho C_P = 5260000\ J.m^{-3}.°C^{-1}$
$\lambda = 33.5\ W.m^{-1}.°C^{-1}$

Coefficients pour la métallurgie :

TRC « standard »

$AR3 = 830\,°C,\ alpha = -0.0306$
$MS0 = 400\,°C,\ AC1 = 724\,°C,\ AC3 = 846\,°C$
$\tau_1 = 0.034,\ \tau_3 = 0.034$

Microdureté des différenres phases métallurgiques :

- pour la ferrite $d = 200.\,HV$
- pour la perlite $d = 200.\,HV$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

- pour la bainite $d = 300.\,HV$
- pour la martensite $d = 400.\,HV$
- pour l'austénite $d = 100.\,HV$

1.3 Conditions aux limites et chargements

$T_\infty = 15\,°C$

$h = 1675\,W.m^{-2}.°C^{-1}$

1.4 Conditions initiales

$T(x, y, 0) = 700\,°C.$

$Zf(x, y, 0) = 0.7$
$Zb(x, y, 0) = 0.3$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

- Au chauffage, on impose une montée en température uniforme de 700 à $900\,°C$ en $200\,s$.
- Solution analytique pour le calcul thermique (au refroidissement depuis $900\,°C$).

$$T(x,y,t)=\theta(x,y,t)(T(x,y,0)-T_\infty)+T_\infty$$

où :

$$\theta(x,y,t)=\sum_{i=1}^{\infty} A_i e^{-\omega_i^2 \frac{\lambda}{\rho C_P} t} \cos\omega_i x \times \sum_{A_i}^{\infty} e^{-\omega_i^2 \frac{\lambda}{\rho C_P} t} \cos\omega_i y$$

avec ω_i vérifiant :

$$\omega_i L\, tg(\omega_i L)=\frac{hL}{\lambda}=5.00$$

et :

$$A_i=\frac{4\sin(\omega_i L)}{2\omega_i L \sin(\omega_i L)}$$

- Les valeurs de référence pour les évolutions métallurgiques dépendent du modèle et de l'intégration en temps des relations de comportements. On ne dispose pas de valeurs de référence.
- La dureté d'un point matériel dépendant des proportions métallurgiques de chaque phase, on ne dispose pas de valeurs de référence.

2.2 Résultats de référence

(Calcul thermique) :

- température aux points A, B, C à l'instant $t=300\,s$,
- proportion de bainite aux points A, B, C aux instants $t=410,300$ et $300\,s$ respectivement,
- proportion de martensite aux points A, B, C à l'instant $t=410\ s$,
- proportion d'austénite au point A aux instants $t=30\ s$ et $140\ s$.
- dureté au point O aux instants $t=30\ s, 140\ s, 300\,s$ et $410\,s$.

2.3 Incertitude sur la solution

Inférieure à 1% avec 30 modes pour chaque somme.

2.4 Références bibliographiques

[] F.P. INCROPERA, D.P. DE WITT, J. WILEY. Fundamentals of heat and mass transfert. Third Edition. 1990.

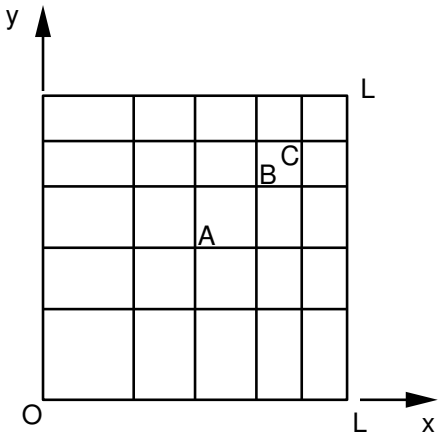
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Éléments **2D 'PLAN'**

Par raison de symétrie, on ne maille qu'un quart de section carrée et on raffine en $x=L$ et $y=L$.



Découpage : 5 mailles QUAD8 selon l'axe des x
5 mailles QUAD8 selon l'axe des y

Conditions aux limites : sur $x=0$ et $y=0$ $\phi=0$
sur $x=L$ et $y=L$ $-\lambda \partial T/\partial n=h(T(x,y,t)-T_\infty)$

Points de Gauss :

A : maille $m13$ point 1
B : maille $m19$ point 1
C : maille $m19$ point 3

Nœud :

O : nœud $N1$

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 96
Nombre de mailles et types : 25 QUAD8, 20 SEG3

3.3 Remarques

165 pas de calcul de 0 à 410 s (40 pas de 5 s, puis 40 pas de 1 s, puis 85 pas de 2 s).

3.4 Grandeurs testées et résultats

Option META_ELNO et DURT_ELNO :

Identification	Grandeurs	Référence	*Aster*	% différence
$t=30$ s $M13$ ($PG1$)	P	0.0489	0.0489	1.64 10^{-6} absolu
$t=140$ s $M13$ ($PG1$)	P	0.9505	0.9505	4.10 10^{-5} absolu
$t=300$ s $M13$ ($PG1$)	TPG	464.1	464.37	0.058
$t=300$ s $M19$ ($PG1$)	TPG	338.5	338.79	0.086

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

$t=300\ s$ $M19$ ($PG3$)	TPG	245.4	245.68	0.116	
$t=410\ s$ $M13$ ($PG1$)	ZB		0.7828		
$t=300\ s$ $M19$ ($PG1$)	ZB		0.5873		
$t=300\ s$ $M19$ ($PG3$)	ZB		0.3113		
$t=410\ s$ $M13$ ($PG1$)	ZM		0.2156		
$t=410\ s$ $M19$ ($PG1$)	ZM		0.4103		
$t=410\ s$ $M19$ ($PG3$)	ZM		0.6846		
$t=30\ s$ $N1$	HV		223.643		
$t=140\ s$ $N1$	HV		106.430		
$t=300\ s$ $N1$	HV		100.000		
$t=410\ s$ $N1$	HV		308.248		

TPG : température au point de GAUSS,
ZB : proportion de bainite,
ZM : proportion de martensite,
P : proportion d'austénite.
HV : dureté de Vickers

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Synthèse des résultats

Les températures calculées aux points A, B et C sont obtenues à 0.1% près. Les proportions d'austénite sont parfaitement déterminées.

Les proportions de bainites, de martensite et le calcul de dureté sont des résultats permettant de vérifier la non régression du code (pas de solution de référence).

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)