MTLP103 - Trempe d'un barreau cylindrique en acier 16MND5

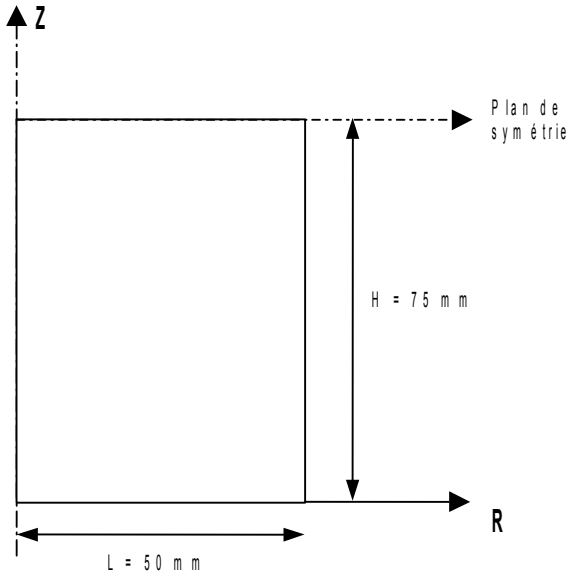
Résumé :

Ce cas-test constitue une validation des modèles de transformations métallurgiques au refroidissement dans les aciers. Il s'agit de la trempe d'un barreau cylindrique en acier 16MND5, pour lequel des données expérimentales de mesures de duretés finales sont disponibles. Le calcul de thermique non linéaire de la phase de refroidissement est tout d'abord effectué à partir de l'identification d'un coefficient d'échange thermique (lorsque le barreau est dans l'air), puis d'une densité de flux surfacique fonction du temps sur la frontière extérieure (lors de la trempe). Ces conditions aux limites ont été identifiées grâce à des mesures de températures par thermocouples effectuées lors de l'essai. Le calcul de l'évolution métallurgique est ensuite effectué en post-traitement du calcul thermique. Les valeurs de duretés finales calculées (dépendantes des proportions de phases formées) sont comparées aux mesures effectuées en différents points de la section du barreau.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



Barreau cylindrique :

Hauteur totale : $2\mathrm{H}=150\,mm$
Diamètre : $2\mathrm{L}=100\mathrm{mm}$

1.2 Propriétés du matériau

Le barreau est en acier 16MND5. Les propriétés thermiques (conductivité et enthalpie du matériau) varient avec la température et sont données dans [bib1].

Coefficients pour la métallurgie :

TRC « standard »

$AR3=830\,°C$, $alpha=-0.0249$
$MS0=415\,°C$, $AC1=724\,°C$, $AC3=846\,°C$
$\tau_1=0.034$, $\tau_3=0.034$

Microdureté des différentes phases métallurgiques :

pour la ferrite $d=184.\,HV$
pour la perlite $d=184.\,HV$
pour la bainite $d=309.\,HV$
pour la martensite $d=450.\,HV$
pour l'austénite $d=100.\,HV$

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

1.3 Conditions aux limites et chargements

Coefficient d'échange thermique avec l'extérieur pendant 14 sec. (avant la trempe) calé sur les mesures de températures par thermocouples :

Temps (s)	$H(W.m^{-2}.°C^{-1})$
0.	100.
13	100.
14.	10000.

$T_{\infty}=25\,°C$

Densité surfacique de flux de chaleur fonction de la température T sur les frontières (pendant la trempe) calée sur les mesures de températures :

$T(°C)$	25.	50.	100.	150.	200.	250	300.
Flux $(W.m-2)$	0. E+06	-0.03 E+06	-0.08 E+06	-0.16 E+06	-0.71 E+06	-1.51 E+06	-1.99 E+06
$T(°C)$		350.	400.	450.	500.	550.	600.
Flux $(W.m-2)$		-2.53 E+06	-3.34 E+06	-3.78 E+06	-6. E+06	-7. E+06	-7.9 E+06

1.4 Conditions initiales

$T(r,z)=906\,°C.$

Barreau entièrement austénitisé à l'état initial soit $Zf(r,z)=0.$, $Zp(r,z)=0.$, $Zb(r,z)=0.$ et $Zm(r,z)=0.$

2 Solution de référence

Il n'existe pas de solutions analytiques. Cependant des résultats expérimentaux sont disponibles (mesures de dureté).

2.1 Résultats de référence

Calcul thermique : Température aux points T0, T9, T10 aux instant $t=13\mathrm{s},20\mathrm{s},30\mathrm{s},$

Calcul métallurgique : Profils de dureté à $t=240\mathrm{s}$ pour les segments H5, H10, H15, H25, H35, H38, H45, H55, H65, et H75.

2.2 Références bibliographiques

[1] A. BEBEY-FOURCOT, F. WAECKEL, Note EDF DER HI-74/98/003/0. Validation des modèles métallurgiques du Code_Aster via la simulation de deux trempes (10 juillet 1998).

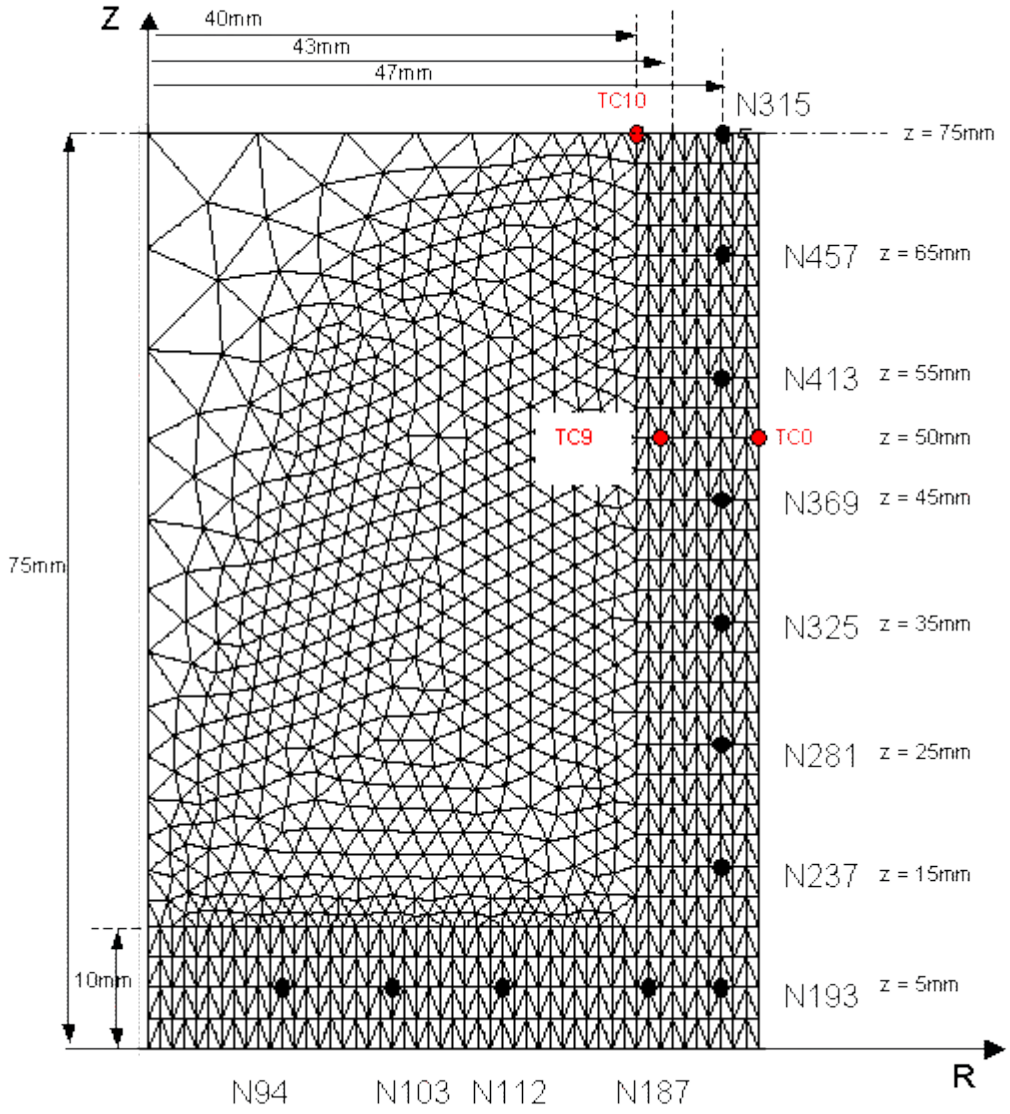
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation axisymétrique

Par raison de symétrie, on ne maille qu'une demi-section.



Conditions aux limites : Sur z = 75 mm

Adiabatique (symétrie : flux nul)

$$\phi = 0$$

sur x = 50mm et z = 0mm

De 0 à 14s :

$$-\lambda \cdot \partial T / \partial n = h(T(r,z,t) - T_\infty)$$

de 14s à 240s :

$$-\lambda \cdot \partial T / \partial n = F(T(r,z,t))$$

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

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 4316
Nombre de mailles et types : QUAD8, SEG3

3.3 Remarques

105 pas de calcul de 0 à 240 s (60 pas de 1 s, puis 45 pas de 4 s).

3.4 Grandeurs testées et résultats

Champs TEMP et DURT_ELNO :

TPN : Température au nœud
HV : dureté de Vickers

Identification	Grandeur	*Aster*
T = 13s, Nœud TC0	TPN	871,348
T = 20s, Nœud TC0	TPN	291,800
T = 30s, Nœud TC0	TPN	226,905
T = 13s, Nœud TC9	TPN	890,128
T = 20s, Nœud TC9	TPN	608,298
T = 30s, Nœud TC9	TPN	432,164
T = 13s, Nœud TC10	TPN	895,338
T = 20s, Nœud TC10	TPN	717,098
T = 30s, Nœud TC10	TPN	520,166

Position	Nœud	maille	Grandeurs	*Aster*	mesures	Ecart (%)
Z (mm) = 5						
R (mm) = 11	N94	M101	HV	361,145	398	9,0
R (mm) = 20	N103	M120	HV	365,324	404	9,0
R (mm) = 29	N112	M137	HV	371,928	408	9,0
R (mm) = 41	N187	M341	HV	408,118	413	3,0
R (mm) = 47	N193	M353	HV	432,139	427	2,0

Position	Nœud	maille	Grandeurs	*Aster*	mesure	Ecart (%)
H =15 ;R=41	N231	M421	HV	374,327	381	2,0
H =15 ;R=47	N237	M433	HV	400,68	401	0,5
H=25 ;R=41	N275	M501	HV	359,687	355	1,5
H=25 ;R=47	N281	M513	HV	392,703	396	0,5
H=35 ;R=41	N319	M581	HV	346,007	345	1,0
H=35 ;R=47	N325	M593	HV	391,844	425	7,0
H=45 ;R=41	N363	M661	HV	344,908	335	3,0
H=45 ;R=47	N369	M673	HV	391,77	425	7,0
H=55 ;R=41	N407	M741	HV	345,728	370	8,0
H=55 ;R=47	N413	M753	HV	391,836	430	9,0
H=65 ; R=41	N451	M821	HV	346,752	350	2,0
H=65 ; R=47	N457	M833	HV	391,863	410	4,0
H=75 ; R=41	N3148	M901	HV	346,871	330	4,5
H=75 ; R=47	N3154	M913	HV	391,842	425	7,0

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

4 Synthèse des résultats

La comparaison calcul-mesures en termes de dureté est satisfaisante (moins de 10% d'écart relatif). Ce cas-test permet donc de valider le modèle de comportement au refroidissement de l'acier.

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