HSNV135 – Modèle META_LEMA_ANI : tube sous pression et température variable

Résumé :

Ce test constitue une validation numérique du modèle de comportement META_LEMA_ANI mécanique avec effet des transformations métallurgiques développé pour le matériau de la gaine des crayons combustibles, le Zircaloy. Il s'agit d'un tube soumis à une pression interne, avec prise en compte de l'effet de fond et à une température uniforme et variable dans le temps (donc plusieurs phases en présence). Ce cas-test est identique au HSNV134 modélisation A, excepté qu'ici, il se produit un changement de phase.

Il n'y a pas de solution analytique. Les résultats sont soit comparés à ceux obtenus par l'opérateur CALC_META, soit testé en non régression.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

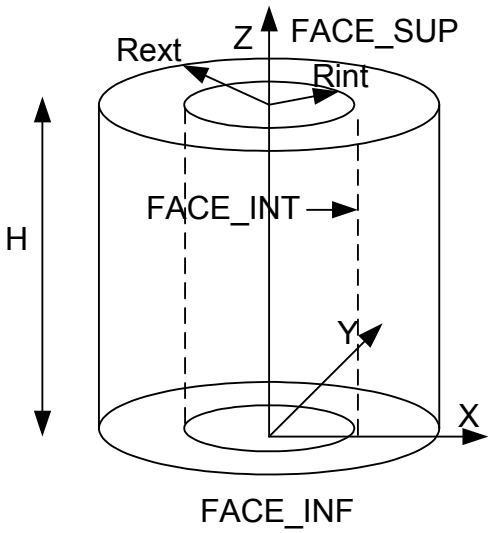


Figure 1.1-a : Géométrie du problème de référence

Il s'agit d'un cylindre de hauteur $H=20\text{mm}$, de rayon intérieur $Rint=4.118\text{mm}$ et de rayon extérieur $Rext=4.746\text{mm}$.

1.2 Propriétés de matériaux

Les propriétés matériaux sont décrites par les paramètres suivants :
Les propriétés matériaux sont décrites par les paramètres suivants :

Propriétés thermiques :

- $\rho C_p=2000000\,J.m^{-3}.°C^{-1}$
- $\lambda=9999.9\,W.m^{-1}.°C^{-1}$

Propriétés métallurgiques :

- $TDEQ=809\,°C$
- $K=1.135.10^{-2}$
- $N=2.187$
- $T1C=831\,°C$
- $T2C=0.°C$
- $QSR_K=14614$
- $AC=1.58.10^{-4}$
- $M=4.7$
- $T1R=949{,}1\,°C$
- $T2R=0.°C$
- $AR=-5.725$
- $BR=0.05$

Propriétés mécaniques thermo-élastiques :

- Module de Young : $E=80\,000\,MPa$
- Coefficient de Poisson : $NU=0.35$

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

- Coefficient de dilatation identique pour les phases chaude et froide $F_{ALPHA}=8{,}0\times10^{-6}\circ C^{-1}$ et $C_{ALPHA}=8{,}0\times10^{-6}\circ C^{-1}$

Propriétés mécaniques de la loi META_LEMA_ANI

- Paramètres liés à la viscosité, phase α pure

```
F1_A = 2.39
F1_M = 0.
F1_N = 4.39
F1_Q = 19922.8
```

- Paramètres liés à la viscosité, m élange $\alpha+\beta$

```
F2_A = 0.22
F2_M = 0.77 E-4
F2_N = 2.96
F2_Q = 21023.7
```

- Paramètres liés à la viscosité, phase β pure

```
C_A = 9.36
C_M = 0.99 E-4
C_N = 6.11
C_Q = 6219
```

- Coefficients de la matrice d'anisotropie dans le plan (r,θ,z) , phase α

```
F_MRR_RR = 0.4414
F_MTT_TT = 0.714
F_MZZ_ZZ = 1
F_MRT_RT = 0.75
F_MRZ_RZ = 0.75
F_MTZ_TZ = 0.75
```

- Coefficients de la matrice d'anisotropie dans le plan (r,θ,z) , phase β

```
C_MRR_RR = 1
C_MTT_TT = 1
C_MZZ_ZZ = 1
C_MRT_RT = 0.75
C_MRZ_RZ = 0.75
C_MTZ_TZ = 0.75
```

1.3 Conditions aux limites et chargements

Partie thermique :

On impose une température uniforme sur tout le tube :

Temps (s)	Température ($°C$)
-1.	20.
0.	609.
36.1	609.
44.	799.7
46.	838.67
48.	876.52
49.2	894.5

Partie mécanique :

La partie inférieure du cylindre (FACE_INF) est bloquée en déplacement suivant z : $UZ(x,y,0)=0$

Toute la partie supérieure du cylindre (FACE_SUP) a un déplacement suivant z uniforme

On impose une pression sur la face intérieure du tube (FACE_INT) :

Temps (s)	Pression (MPa)
-1.0	0.

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

0.	0.
36.1	6.74
49.2	6.74

On tient compte de l'effet de fond sur la partie supérieure du tube (FACE_SUP) :

Temps (s)	Pression (MPa)
-1.0	0.
0.	0.
36.1	6.74*coeff
49.2	6.74*coeff

Avec $coef = (Rint \times Rint) / [(Rext \times Rext) - (Rint \times Rint)]$

2 Solution de référence

Il n'existe pas de solution de référence. Les résultats sont soit comparés à ceux obtenus par l'opérateur CALC_META, soit testé en non régression.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation utilisée dans le cas test est la suivante :

Éléments 2D **'AXIS' (QUA8)**

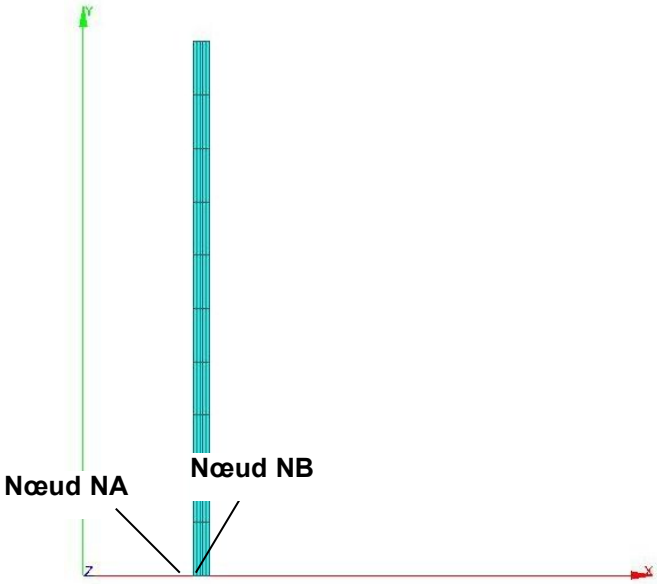


Figure 3.1-a : Géométrie et maillage de la modélisation

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

3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de nœuds : 181
Nombre de mailles et types : 50 QUAD8, 30 SEG3.
Nœud NA : $X = Rint\,, Y = 0.$
Nœud NB : $X = Rext\,, Y = 0.$

3.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Grandeur	*Référence*
$t = 49.2s \quad NA$	SIXX	Non régression
$t = 49.2s \quad NA$	SIZZ	Non régression
$t = 49.2s \quad NA$	SIYY	Non régression
$t = 49.2s \quad NA$	EPXX	Non régression
$t = 49.2s \quad NA$	EPZZ	Non régression
$t = 49.2s \quad NA$	EPYY	Non régression
$t = 49.2s \quad NA$	Déformation visqueuse cumulée V5	Non régression

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

$t=49.2s$ NA	Contrainte équivalente de Hill V8	Non régression
$t=49.2s$ NA	Contrainte visqueuse de la phase alpha V9	Non régression
$t=49.2s$ NA	Contrainte visqueuse de la phase alpha/bêta V10	Non régression
$t=49.2s$ NA	Contrainte visqueuse de la phase bêta V11	Non régression

Identification	Grandeur	*Référence*	*Valeur de référence*
$t=44.4s$ NA	Proportion phase bêta V6	Analytique	0.0
$t=47.6s$ NA	Proportion phase bêta V6	Autre aster	2.1496E-02
$t=49.2s$ NA	Proportion phase bêta V6	Autre aster	1.0664E-01

Identification	Grandeur	*Référence*	*Valeur de référence*
$t=36.1s$ NA	Déformation thermique V7	Analytique	0.004712
$t=46.0s$ NA	Déformation thermique V7	Analytique	0.00654936
$t=49.2s$ NA	Déformation thermique V7	Analytique	0.006996

Identification	Grandeur	*Référence*	*Valeur de référence*
$t=46.0s$ NA	Indicateur de changement de phase V12	Autre aster	0.0
$t=49.2s$ NA	Indicateur de changement de phase V12	Autre aster	1.0
$t=49.2s$ NA	Indicateur de changement de phase V12	Autre aster	1.0

Identification	Grandeur	*Référence*	*Valeur de référence*
$t=44.4s$ NA	Instant où T=TDEQ V12	Autre aster	0.0
$t=44.8s$ NA	Instant où T=TDEQ V12	Autre aster	4.4477E+01
$t=49.2s$ NA	Instant où T=TDEQ V12	Autre aster	4.4477E+01

Identification	Grandeur	*Référence*	*Valeur de référence*
$t=44.4s$ NA	Instant où T=TFEQ V13	Analytique	0.0
$t=44.8s$ NA	Instant où T=TFEQ V13	Analytique	0.0
$t=49.2s$ NA	Instant où T=TFEQ V13	Analytique	0.0

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