ÉCOLE POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

Le génie sans frontières

Questionnaire Contrôle périodique 1

MTR2000

Sigle du cours

Corrigé

Identification de l'étudiant(e)		
Nom :	Prénom :	
Signature :	Matricule :	Groupe :

Réservé	
Q1	/6
Q2	/8
Q3	/6
Q4	/5
	/25

Sigle et titre du cours	Groupe	Trimestre
MTR2000 Matériaux métalliques	Tous	Hiver 2009
Professeurs	**Local**	**Téléphone**
Richard Lacroix		

Jour	Date	Durée	Heures
Mardi	1er février 2010	1 h 30	18 h 30 - 20 h

Documentation	Calculatrice	
[X] Aucune [ ] Toute [ ] Voir directives particulières	[ ] Aucune [ ] Toutes [X] Non programmable	**Les cellulaires, agendas électroniques ou téléavertisseurs sont interdits.**

Directives particulières

1. Les nombres entre parenthèses indiquent le nombre de points accordés à la question, le total est de **25** points.
2. **Pour les questions nécessitant des calculs ou une justification, aucun point ne sera accordé à la bonne réponse si le développement n'est pas écrit.**
3. Utilisez les espaces prévus ou la page opposée pour vos calculs.
4. Un formulaire général est à la dernière page.

Important

Cet examen contient 4 questions sur un total de 9 pages.
(excluant cette page)

La pondération de cet examen est de 25 %

Vous devez répondre sur : [X] le questionnaire [ ] le cahier [ ] les deux

Vous devez remettre le questionnaire : [X] oui [ ] non

L'étudiant doit honorer l'engagement pris lors de la signature du code de conduite.

Question N°1 Vrai ou Faux (6 points)

Dites si les affirmations suivantes sont Vraies **(V)** ou Fausses **(F)** dans la case appropriée du tableau donné au formulaire de réponse.

***Attention** : une mauvaise réponse annule une bonne réponse*.

Énoncé de l'affirmation	V ou F ?
La température de sublimation d'un matériau est d'autant plus élevée que la valeur de son coefficient de dilation linéique est grande.	**F**
Dans un polycristal, les dislocations sont mises en mouvement quand la contrainte appliquée est égale à la limite conventionnelle d'élasticité $R_{e0,2}$.	**F**
Dans un monocristal, les premières dislocations mises en mouvement sont celles qui appartiennent au système de glissement caractérisé par le facteur de Schmid le plus élevé.	**V**
La ductilité d'un matériau permet d'atténuer fortement la concentration locale des contraintes à la racine d'entailles mécaniques grâce à une plastification locale du matériau à cette racine.	**V**
Plus la taille des grains d'un polycristal est grande, plus sa limite d'élasticité $R_{e0,2}$ est élevée.	**F**
Le durcissement par écrouissage, permettant d'augmenter la limite d'élasticité $R_{e0,2}$ d'un matériau polycristallin ductile, entraîne une augmentation simultanée de la ductilité de ce matériau.	**F**

Question N°2 Architecture atomique et glissement (8 points)

Le fer passe d'une structure cristalline cubique centrée (fer α) à une structure cubique à faces centrées (fer γ) lorsqu'il est chauffé au dessus de 910°C. Sachant que pour ces deux structures, le motif de la maille cristalline est composé d'un seul atome de fer, et disposant des données suivantes :

rayon atomique du fer :	0,124 nm
masse molaire du fer :	55,85 g/mol

nombre d'Avogadro :	$6{,}022 \times 10^{23}$ mol^{-1}
masse volumique du fer α :	7,90 g/cm^3

Veuillez répondre aux questions suivantes :

a) Comment se nomme la transformation de phase qui a lieu à 910°C ? (1 point)

Réponse : **Transformation allotropique.**

b) Quelle est la masse volumique (en g/cm^3) du fer γ de structure cubique à faces centrées ? *Justifiez votre réponse par des schémas et des calculs.* (2 points)

Calculs :

La masse volumique : $\rho = \frac{masse}{Volume}$

<u>Calcul de la masse :</u>

Dans une maille cubique à faces centrées, il y a 4 atomes en propre : 6 atomes au centre des faces de la maille où chaque atome est partagé entre 2 mailles et 8 aux sommets de la maille cubique qui sont partagés entre 8 mailles.

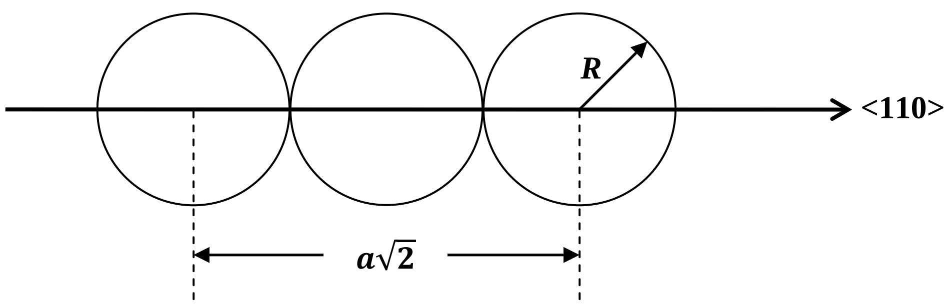
C'est-à-dire : 6 × ½ + 8 × 1/8 = 4.

Chaque atome une masse de A_{Fe}/N_A où A_{Fe} est la masse molaire du fer et N_A est le nombre d'Avogadro.

<u>Calcul du volume :</u>

On a une maille cubique d'arête a et, dans une maille cubique à faces centrées, les atomes de rayon R sont tangents dans une direction <110> (la diagonale d'une face du cube). On a : $a\sqrt{2} = 4R$.

$$\rho = \frac{masse}{Volume} = \frac{4 \times \left(\frac{A_{Fe}}{N_A}\right)}{a^3} = \frac{4 \times \left(\frac{55,85\ g \cdot mol^{-1}}{6,022 \times 10^{23}\ mol^{-1}}\right)}{\left[\frac{(4 \times [0,124 \times 10^{-7} cm])}{\sqrt{2}}\right]^3} = 8,599\ \ g/cm^3$$



ρ_γ = 8,6 g/cm^3

c) Lorsqu'une barre de fer passe de 909°C à 911°C, est-elle sujette à une expansion volumique ? *Justifiez votre réponse.* (2 points)

Justification :

Expansion ? Non.

Pour la même barre qui conserve sa masse m (car on a le même nombre d'atomes), il y aura une <u>diminution</u> de volume puisque les masses volumiques respectives (ρ = m/V) des phases α et γ sont de 7,9 g/cm³ et de 8,6 g/cm³.

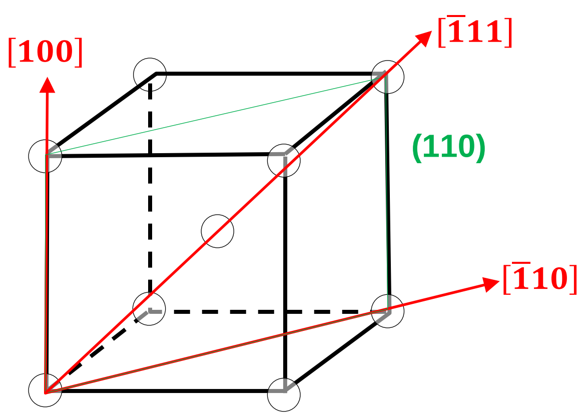
d) Quels sont les indices de Miller de la famille des plans de glissement pour le fer α de structure cubique centrée ? (1 point)

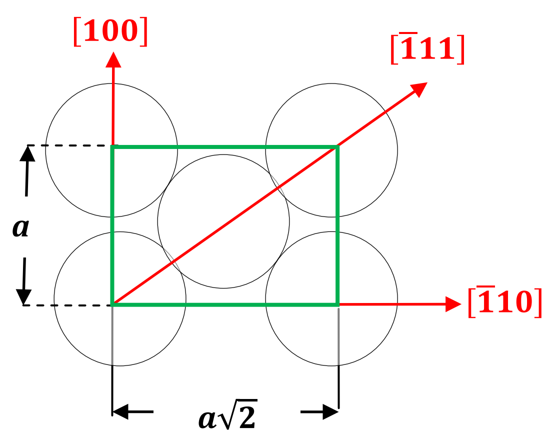
Réponse :

Ce sont les plans denses de la structure cubique centrée : {110}.

e) Quelle est la densité surfacique d'atomes (par nm^2) pour la famille de plans identifiée en **d)** ? *Justifiez votre réponse par des calculs.* (2 points)

Calculs : **Dans une maille cubique centrée dont le paramètre de la maille est $\boldsymbol{a}$ (longueur de l'arête), les atomes sont tangents dans la direction <111>, on a donc la situation suivante :**





Le paramètre de la maille a est donné par la relation : $a\sqrt{3} = 4R$ (voir la figure ci-dessus) et la densité surfacique est :

$$D_{\{110\}} = \frac{nb\ atomes\ en\ propre}{aire} = \frac{\left(1+4\times\frac{1}{4}\right)}{(a)\left(a\sqrt{2}\right)} = \frac{2}{\sqrt{2}\left(\frac{4R}{\sqrt{3}}\right)^2} = \frac{3\ atomes}{8\sqrt{2}\,(0,124\ nm)^2}$$

$$= 17,25\ atome/mn^2$$

densité surfacique =	**17,25**	**atomes/nm^2**

Question n° 3 Matériaux sous contrainte (6 points)

Les propriétés mécaniques d'un acier 1040 à l'état recuit sont données dans le tableau suivant.

R_e (MPa)	R_m (MPa)	A (%)	K_{IC} (MPa·m^{½})
355	520	30	54

On fabrique les pièces décrites en **a) b)** et **c)** à partir de cet acier.

Pour chaque pièce, calculez la force maximale F_{max} qui peut être appliquée sans qu'il n'y ait déformation plastique ou rupture.

a) Une barre cylindrique ayant un diamètre de 2,00 centimètres sur laquelle on applique une force de traction selon l'axe longitudinal. (1,5 point)

Calculs :

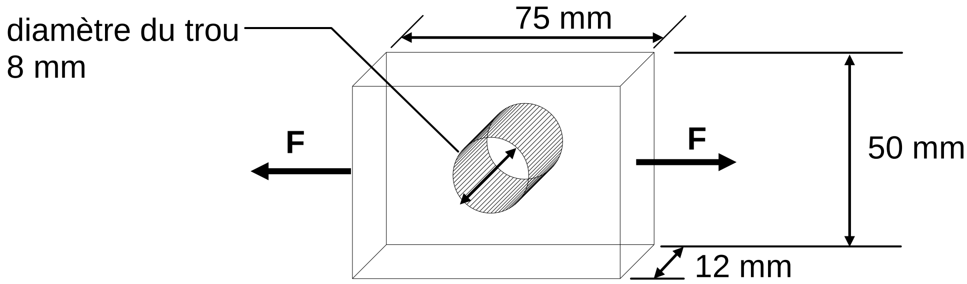
La condition à respecter est qu'il n'y ait ni déformation plastique, ni rupture de la tige cylindrique. Alors : $\sigma \leq R_e$.

Comme $\sigma = \frac{F}{S_0}$ et que $S_0 = \pi\frac{d^2}{4}$, on a :$F = \frac{\pi d^2\,\sigma}{4}$

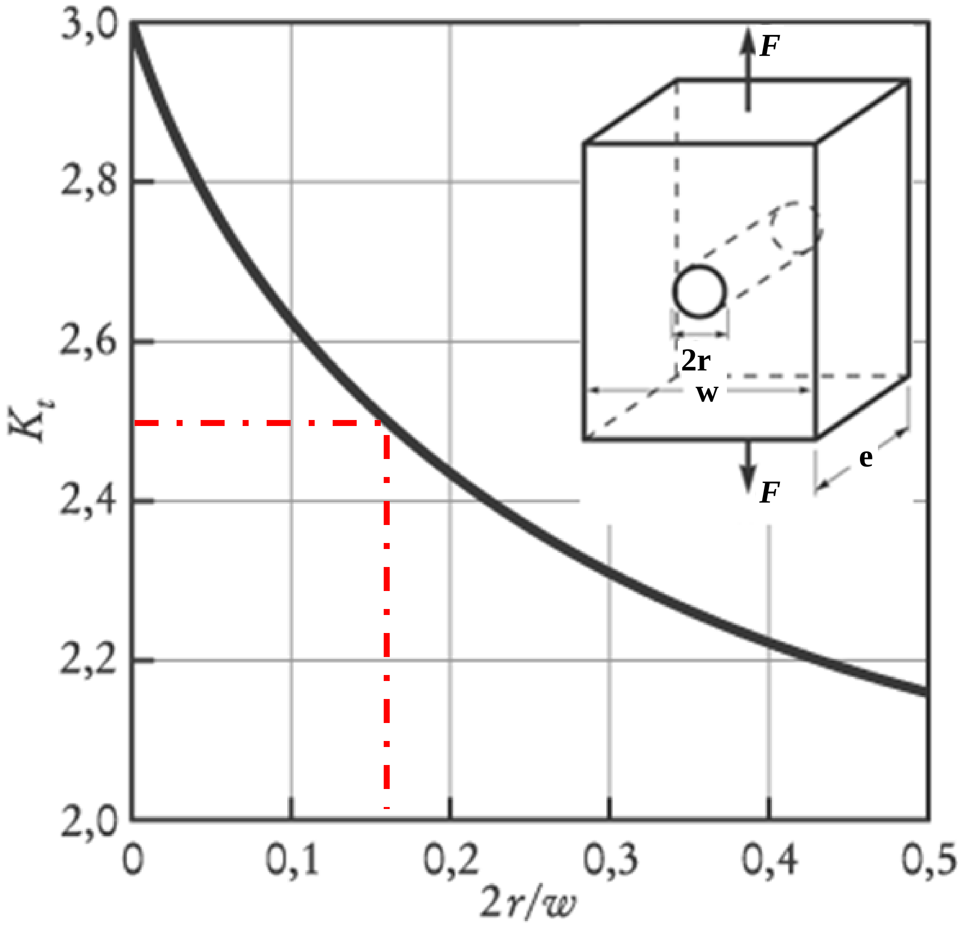
Donc, $F_{max} = \frac{\pi d^2\,R_e}{4} = \frac{\pi(2{,}00\times10^{-2}m)^2(355\times10^6 N/m^2)}{4} = 111{,}53\ kN$

F_{max} A = **111,5 × 10^3** **N**

b) Une plaque rectangulaire trouée, sollicitée en traction, dont les dimensions sont données ci-dessous ? (2 points)



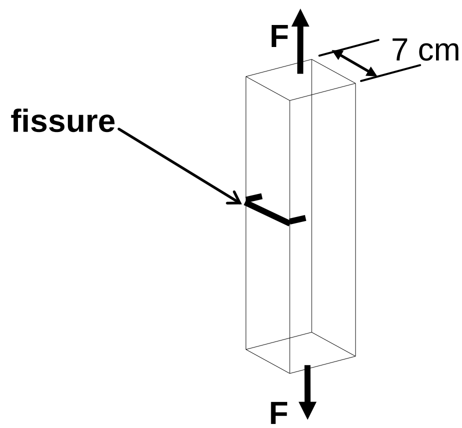
Vous disposez aussi du graphique suivant donnant la variation du facteur de concentration de contrainte pour une plaque trouée.



Calculs :   **La condition à respecter est qu'il n'y ait ni déformation plastique, ni rupture de la plaque trouée et il faut considérer la concentration de contrainte due au trou. On a :** $$\sigma_{loc} \leq R_e \qquad (1)$$ $$\sigma_{loc} = K_t\sigma_{nom} \qquad (2)$$ **Le graphique (ligne en tirets rouges) nous donne K_t = 2,5 car $\frac{2r}{w} = \frac{8\ mm}{50\ mm} = 1,6$.**   **Alors, en combinant (1) et (2) avec la valeur de K_t et en se rappelant que $\sigma_{nom} = \frac{F}{S_0} = \frac{F}{(w-2r)e}$, on a :** $$F_{max} = \frac{R_e[(w-2r)e]}{K_t} = \frac{(355\times10^6\ N/m^2)\left[\left((50-8)\times10^{-3}\ m\right)(12\times10^{-3}\ m)\right]}{2,5}$$ $$= 71,57\ kN$$

F_{max} **B =**	**$71,6 \times 10^3$**	**N**

c) Un barreau de section carrée, sollicité en traction, qui contient une fissure bande (faisant toute la largeur) ayant une profondeur de 4 millimètres tel que schématisé ci-dessous. Le facteur géométrique d'une fissure bande est 1,12. (2,5 points)



Calculs :

Dans le cas d'une fissure, 2 conditions doivent être respectées simultanément :
$\sigma_{nom} \leq R_e$ **et** $K \leq K_{IC}$

Pour la première condition $\sigma_{nom} \leq R_e$**, on a :**

$$F_1 \leq R_e S_0 = (355 \times 10^6\ N/m^2)(7 \times 10^{-2} m)^2 = 1740\ kN$$

Pour la seconde condition $K \leq K_{IC}$ **et sachant que** $K = \alpha \sigma_{nom} \sqrt{\pi a}$**, on a :**

$$F_2 \leq \frac{K_{IC} S_0}{\alpha \sqrt{\pi a}} = \frac{\left(54\ MPa\sqrt{m}\right)(7 \times 10^{-2} m)^2}{1,12\ \sqrt{\pi(4 \times 10^{-3}\ m)}} = 2107\ kN$$

Si on respectait la seconde condition seulement, le barreau subirait une déformation plastique généralisée, alors c'est la condition la plus restrictive qu'il faut prendre :

$$F_{max} = F_1 = 1740\ kN$$

F_{max} C = **1,74 × 10^6** **N**

Question n° 4 Ténacité (5 points)

Soit les trois matériaux suivants :

A : Un acier allié de nuance 4340 (composition chimique en % massique : 95,2 % Fe (min.) ; 0,40 % C ; 1,8 %Ni ; 0,8 % Cr ; 0,25 % Mo ; 0,7 % Mn) à l'état brut de trempe de microstructure martensitique (structure cristalline quadratique centrée).

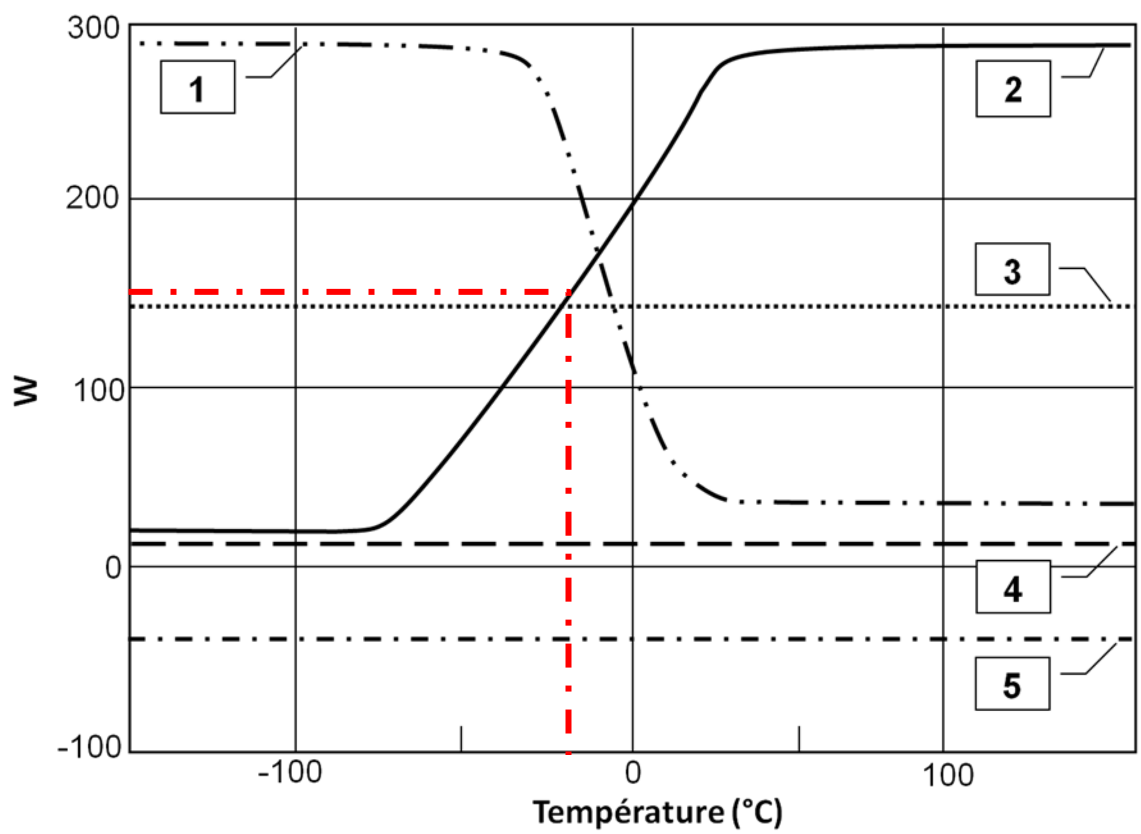
B : Un acier doux de nuance 1020 (composition chimique en % massique : 99,1 % Fe (min.) ; 0,20 % C ; 0,45 % Mn) à l'état recuit composé principalement de ferrite (structure cristalline cubique centrée).

C : Un aluminium recuit de nuance 1100 (composition chimique en % massique : aluminium 99 % Al (min) ; % Fe + % Si < 1 % ; 0,2 % Cu (max.)) à l'état recuit et de structure cubique à faces centrées.

Les propriétés mécaniques de ces trois matériaux sont les suivantes :

Propriétés	**Matériau**		
	A	**B**	**C**
Limite d'élasticité (MPa)	2000	345	34
Limite de traction (MPa)	2100	440	90
Allongement à la rupture (%)	1	38,5	40

et soit la figure ci-dessous qui schématise 5 courbes de résilience hypothétiques produites à partir d'essais Charpy.



a) Quel est le nom de la variable W et quelles en sont les unités ? Indice: cette variable est calculée à partir de la hauteur de remontée du mouton pendule. (1 point)

Réponse : **Énergie absorbée ; Joules**

b) Associez chacun des matériaux (A, B et C) à une courbe de résilience et justifiez votre réponse (vous pouvez utiliser les courbes plus d'une fois si désiré). (3 points)

Matériau A	
Courbe	**4**

Justification:

On remarque que ce matériau, même s'il est très dur (limite d'élasticité et de traction très élevées), est fragile : son allongement à la rupture est de 1%. Il sera donc peu tenace à la température ambiante (20 à 25°C) et à toutes autres températures entre -150°C et 150°C. L'énergie nécessaire pour rompre une éprouvette Charpy sera peu élevée quelque soit la température dans l'intervalle [-150°C, 150°C].

Note : À moins d'avis contraire, les propriétés mécaniques sont mesurées à la température ambiante.

Matériau B	
Courbe	**2**

Justification:

On remarque que ce matériau est tenace à la température ambiante (grande aire sous la courbe de traction) et qu'il a une structure cristalline cubique centrée. Les métaux à structure cristalline cubique centrée montrent une baisse marquée de l'énergie nécessaire pour les rompre lorsque la température diminue et ont, par conséquent une température de transition ductile-fragile.

Matériau C	
Courbe	**3**

Justification:

On remarque que ce matériau a une bonne ductilité à la température ambiante et qu'il a une structure cristalline cubique à faces centrées. Les métaux à structure cristalline cubique à faces centrées n'ont pas de transition ductile-fragile.

c) Quelle est la température de transition ductile-fragile, θ_y évaluée au niveau moyen des énergies qui caractérise la courbe 2 ? (1 point)

Calculs : **Une lecture sur le graphique nous donne $W_f = 20$ J et $W_d = 285$ J.**

Alors : $\overline{W} = \frac{W_f + W_d}{2} = \frac{20J + 285J}{2} = 152,5J \cong 150J.$

En revenant sur le graphique (ligne en traits rouges) on remarque que cela correspond à une température de transition ductile fragile d'environ – 20°C.

θ_y = – 20 °C

Bonne Chance,

Richard Lacroix, chargé de cours.

Formulaire général :

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}\left[\sigma_x - \nu\left(\sigma_y + \sigma_z\right)\right]$$

$$G = \frac{E}{2\left(1+\nu\right)}$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}\left[\sigma_y - \nu\left(\sigma_x + \sigma_z\right)\right]$$

$$\nu = -\frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z} = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z}$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E}\left[\sigma_z - \nu\left(\sigma_x + \sigma_y\right)\right]$$

$$R_{th} = \sqrt{\frac{2E\gamma_s}{a_0}}$$

$$1 = \frac{h\mathbf{x}}{n\mathbf{a}} + \frac{k\mathbf{y}}{n\mathbf{b}} + \frac{l\mathbf{z}}{n\mathbf{c}}$$

$$\mathbf{r} = u\mathbf{a} + v\mathbf{b} + w\mathbf{c}$$

$$\sigma_y = \sigma_{nom}\left(1 + 2\sqrt{\frac{a}{r}}\right)$$

$$\tau = \frac{F}{S_0}\cos\theta\cos\chi$$

$$\tau_{th} = \frac{G}{2\pi}\frac{b}{a}$$

$$R_{e\,0.2} = \sigma_0 + kd^{-1/2}$$

$$l_c = a^* = \frac{2E\gamma_S}{\pi\sigma^2}$$

$$K_C = \alpha\,\sigma_{nom}\sqrt{\pi a}$$