

4. Symposium européen de métallurgie des poudres.  
Grenoble, France, 13-16 mai 1975

CONF  
INLS  
NSA

6-1-1

CEA-CONF--3119  
FR76 00 113

CARACTERISATION MECANIQUE DU NICKEL DE HAUTE POROSITE

J.C. FRAPPIER J. POIRIER

Commissariat à l'Energie Atomique, Bruyères-le-Châtel France

#### DETERMINING THE MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH POROSITY NICKEL

The following tests were carried out on high porosity (40 to 70 %) sintered nickel : tensile tests, compression tests, diametral crushing tests, using strain gauges and extensometers. Results were obtained on the relationship "Elastic properties - porosity" , Poisson coefficient in relation to deformation, variations of yield strength, and breaking stress. These various properties were also studied in relation to the sintering methods and the properties of the powders used.

#### MECHANISCHE KENNZEICHNUNG HOCHPOROSEN NICKELS

Bei hochporösem Sinternickel (40 - 70 %) wurden im Zug- und Druckversuch, sowie durch diametrale Stauchversuche, über Deformations- und Dehnungsmesser, die Eigenschaftsbeziehungen "Elastizität - Porosität" ermittelt, die Poissonsche Konstante in Funktion der Verformung, die Veränderungen der Elastizitätsgrenze und der Bruchbelastung bestimmt, sowie die zwischen diesen verschiedenen Eigenschaften, den Sintermethoden und den Charakteristiken der benutzten Pulver vorhandenen Wechselbeziehungen untersucht.

## 6-1-2

### Résumé

Sur du nickel fritté de porosité élevée (40 à 70 %), des essais de traction, de compression, et des tests brésiliens, instrumentés de jauges de déformation et d'extensomètres ont permis de déterminer les relations "caractéristiques élastiques-porosité", d'évaluer le coefficient de Poisson fonction de la déformation, les variations de la limite élastique et de la contrainte de rupture ; ainsi que d'étudier la corrélation existant entre ces différentes caractéristiques et les modes de frittage ou les propriétés des poudres utilisées.

### INTRODUCTION

L'intégration de pièces de nickel fritté dans des structures mécaniques nécessite une connaissance précise des propriétés mécaniques de ce matériau dont la porosité est comprise entre 40 et 70 %. Outre les problèmes liés à la réalisation d'éprouvettes, il a fallu résoudre ceux que pose l'adaptation des essais mécaniques traditionnels à cette classe de matériaux. L'étude dont nous présentons les premiers résultats relatifs aux sollicitations statiques a donc un double but la caractérisation mécanique du matériau et la qualification des méthodes et des moyens de mesure.

### METHODES EXPERIMENTALES

#### Eprouvettes :

Pour des raisons de simplicité tant d'élaboration d'éprouvettes de porosité élevée que de mise en oeuvre des essais nous réalisons dans un premier temps des éprouvettes cylindriques circulaires, de hauteur  $h = 40 \text{ mm}$  et de diamètre  $\phi = 20 \text{ mm}$  (Le rapport  $h/\phi = 2$  correspond aux optimisations obtenues par différents auteurs (1) (2)). Dans une seconde étape nous fabriquons des éprouvettes de traction dont la réalisation est plus délicate : les têtes sont enrobées de résine et ainsi suffisamment résistantes et adaptées à des amarrages coniques. Ces éprouvettes sont réalisées avec différentes poudres, le compactage est obtenu soit par coulée en barbotine (3) soit par vibration en nacelle, enfin, les porosités sont sensiblement égales à celles des pièces de structures envisagées.

#### Essais mécaniques, instrumentation :

Trois types d'essais mécaniques sont effectués :

- essai de compression simple : sur éprouvettes cylindriques. Un extensomètre mesure la variation de distance  $\Delta \ell$  entre les plateaux et permet le tracé en continu de la courbe force -  $\Delta \ell$
- essai brésilien : sur éprouvettes cylindriques avec enregistrement de la courbe force - déplacement de la traverse
- essai de traction : un extensomètre placé sur l'éprouvette fournit la courbe force =  $F_1(\Delta \ell)$ , des jauges de déformation collées longitudinalement et transversalement permettent un enregistrement dynamique des courbes force =  $F_2(\dot{\epsilon}L)$  et  $\epsilon_T = f(\epsilon L)$ .

### RESULTATS

#### Essai de traction :

L'essai de traction nous permet de déterminer le module d'élasticité, la variation du coefficient de Poisson en fonction de la charge ou de la déformation, la limite d'élasticité, la contrainte de rupture, ainsi que de juger la validité des mesures par jauges. A titre d'exemple la figure 1 représente une courbe contrainte-déformation pour une éprouvette présentant 55 % de porosité. Il est ainsi possible de comparer l'écart entre la courbe obtenue avec extensomètre et celle obtenue avec les jauges. Sur l'ensemble de nos mesures cet écart n'excède pas 10 % bien que la porosité des éprouvettes soit élevée. On admet donc que le collage des jauges ne perturbe pas notablement le comportement du matériau. La figure 2 représente une

## 6-1-3

courbe  $\epsilon_T = f(\epsilon_L)$ , dont la pente permet d'évaluer le coefficient de POISSON apparent. Il faut noter qu'après le franchissement de la limite élastique le coefficient de POISSON diminue. La pseudo limite élastique  $\sigma_y$  est prise de façon conventionnelle et correspond à une déformation plastique de  $10^{-4}$ . Le dépouillement de ces courbes pour chaque éprouvette nous permet d'évaluer les propriétés mécaniques en fonction de la porosité. La figure 3 représente le module d'élasticité. Les trois courbes correspondent à des éprouvettes qui diffèrent soit par la poudre utilisée, soit par le mode de fabrication. Nous extrapolons les résultats vers le point correspondant à la porosité du produit compacté avant frittage. Les coefficients de POISSON mesurés dans les zones élastique et plastique sont portés sur la figure 4, les limites élastiques et les contraintes de rupture sur les figures 5 et 6.

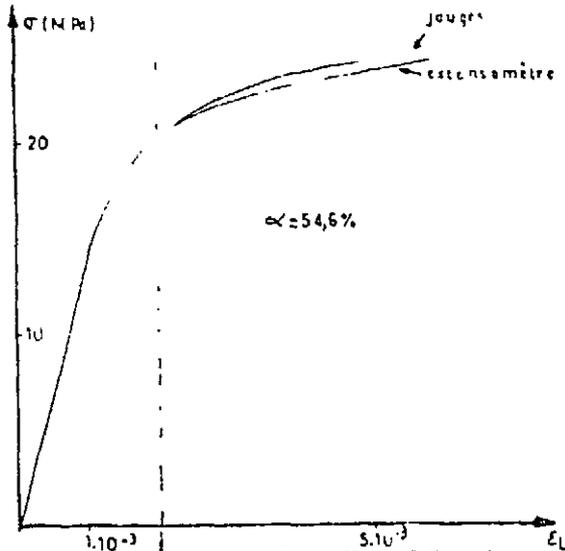


Fig. 1 - Courbe de traction

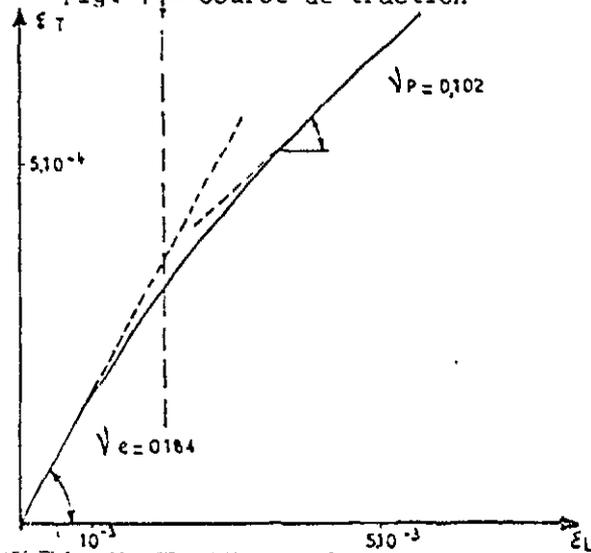


Fig. 2 - Courbe  $\epsilon_T = f(\epsilon_L)$

### Essai de compression :

Nous calculons le module d'élasticité en compression à partir de la variation  $\Delta l$ . figure 7. Ces valeurs sont inférieures aux modules obtenus à partir de l'essai de traction.  $\Delta l$  est certainement surévalué, car cette quantité intègre le fléchissement des plateaux qui peut ne pas être négligeable vis à vis de la valeur de  $\Delta l = 0,1$  mm.

Série	Forme des grains de $4\mu$ à $30\mu$		Compacté	
	sphéroïdes	allongés	obtention	porosité
...	70 %	30 %	barbotine	72 %
ΔΔΔ	70 %	30 %	vibration	72 %
+++	100 %	0	vibration	70 %
xxx	100 %	0	vibration	65 %

Nature des poudres, moyen de compactage

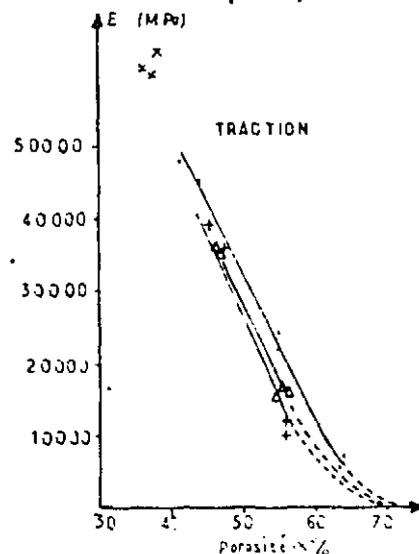


Fig. 3 - Modules d'élasticité

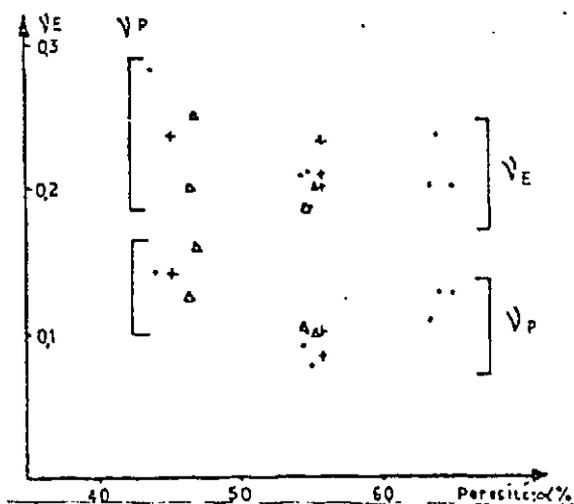


Fig. 4 - Coefficients de POISSON

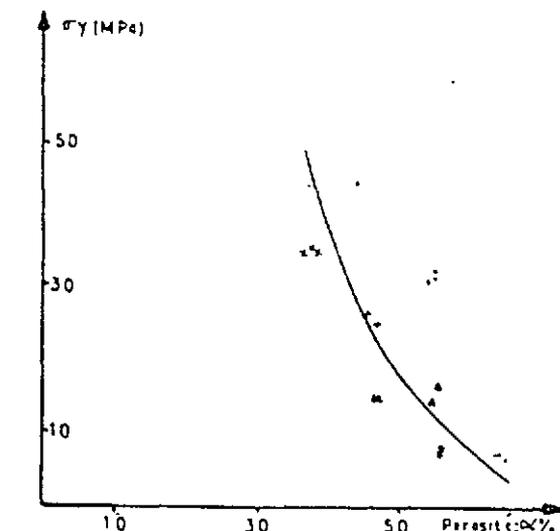


Fig. 5 - Limites d'élasticité

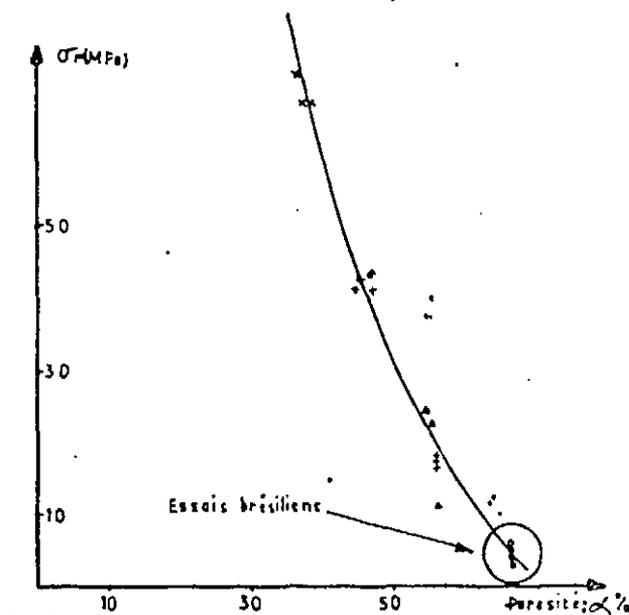


Fig. 6 - Contraintes de rupture

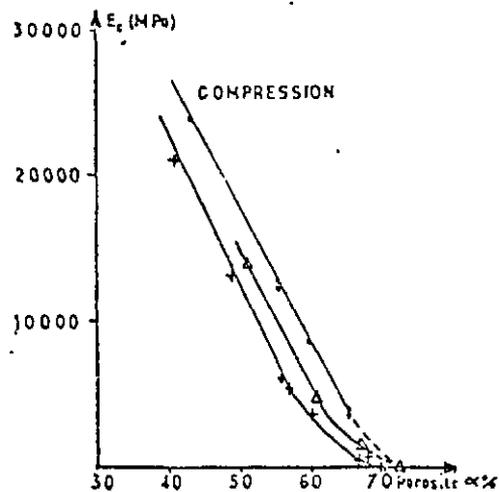


Fig. 7 - Modules d'élasticité en compression

Essai brésilien :

Cet essai est effectué dans le cas où la porosité est très élevée. La fragilité qui en résulte, rend difficile la fabrication d'éprouvettes de traction, tandis que qu'elle accroît la validité d'application de l'essai brésilien. Bien que les valeurs des contraintes de rupture déduites de cet essai semblent faibles figure 6, elles s'intègrent convenablement à l'ensemble des résultats issus des essais de traction.

DISCUSSION

Validité des essais :

- L'essai de compression classique n'apparaît pas satisfaisant en particulier pour la détermination du module d'élasticité, et devrait être modifié (éventuellement

- par l'introduction de "pièces de bout" (3) de même nature que l'éprouvette).
- L'essai brésilien s'applique difficilement dans le cas du nickel fritté sauf éventuellement pour les porosités très élevées.
  - L'essai de traction convenablement instrumenté apporte de nombreux renseignements (module d'élasticité, limite élastique, contrainte de rupture) et nous permet de justifier l'utilisation des jauges de déformation.

#### Propriétés mécaniques :

De nombreux auteurs (figure 8) (4) à (11) ont tenté de prévoir les constantes élastiques des matériaux poreux. Mais aucune de ces théories ne tient compte de la porosité avant frittage du produit compacté. En effet, les propriétés élastiques de cet aggloméré peuvent être considérées comme nulles, comme le met en évidence l'extrapolation des courbes de la figure 3. La comparaison des résultats relatifs aux séries ( $\Delta$ ) et (+) met en évidence que pour une même porosité du produit fritté, les propriétés élastiques, ainsi que les résistances à la rupture sont supérieures dans le cas où la porosité du produit compacté est plus élevée. Cette porosité après compactage et avant frittage semble donc prépondérante dans la détermination des modules élastiques des matériaux présentant une porosité élevée, puisque les fonctions "propriétés mécaniques - porosité" devraient s'annuler pour la valeur de porosité correspondant au produit compacté et non pas sur 100 % de porosité. De plus la structure à porosité ouverte des pièces de faible densité, est analogue à celle du compacté car dans ce cas les effets du frittage sont limités à la formation et à la croissance des "cous" entre les grains. Cette constatation confirme l'aspect de continuité des fonctions précédentes lorsque l'on passe du produit compacté au produit faiblement fritté.

Peu d'auteurs (12) (13) (14) (15) ont étudié le domaine plastique. En s'inspirant parmi les modèles qu'ils ont développés de ceux adaptés au cas de la porosité ouverte, on est conduit à supposer que les

"cous" sollicités en traction sont plastifiés lors du franchissement de la limite d'élasticité, tandis que ceux qui sont orientés transversalement sont encore en régime élastique. Ceci peut constituer une explication qualitative à la diminution du coefficient de POISSON. Quant aux contraintes de rupture elles sont inférieures à différentes déterminations théoriques (16) (17) (18). Mais il faut remarquer que ces prévisions ne sont a priori applicables que pour des matériaux présentant une porosité plus faible. Par ailleurs en comparant les séries (.) et ( $\Delta$ ) il apparaît qu'à porosité égale des compactés et des frittés, les éprouvettes obtenues par coulée en barbotine ont des propriétés mécaniques supérieures à celles obtenues par vibration verticale. Cet écart peut provenir de la plus grande homogénéité que présentent les éprouvettes réalisées par coulée en barbotine.

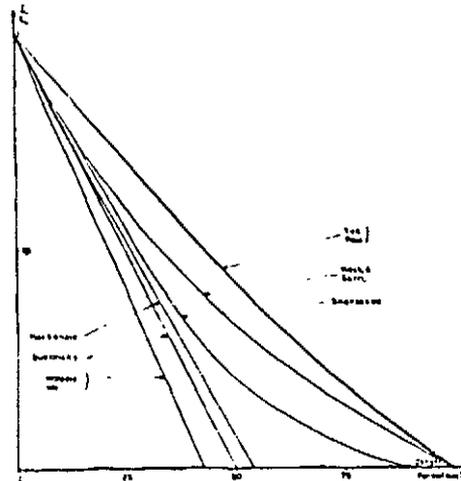


Fig. 8 - Modules d'élasticité théoriques

#### CONCLUSION

Ces premiers résultats de caractérisation mécanique de nickel de haute porosité permettent de justifier l'emploi de jauges d'extensométrie pour ce type de produit et mettent en évidence l'influence prépondérante de la porosité du produit compacté avant frittage sur les propriétés mécaniques, ainsi que la variation du coefficient de POISSON apparent devant le passage du régime élastique au régime plastique.

Références :

1. A. TEMPLIER, J. FINE : Revue de l'industrie minérale, p. 365 (1969)
2. R.L. STOWE, N.T.I.S., AD.773 469 (1973)
3. H.H. HAUSNER : Agglomeration, p. 77-91, Interscience Publishers
4. R.H. YEH : J. of Appl. Phys., vol. 41, p. 3353 (1970)
5. B. PAUL : Trans. ASME, vol. 218, p. 36 (1960)
6. Z. HASHIN, S. SHTRICKMAN : J. Mech and Phys. of Solids, vol. 11, p. 127 (1963)
7. V.V. SKOROKHOD : Poroskhovya Metallurgiya n° 6, p. 33 (1967)
8. J.K. MACKENZIE : Proc. of Phys. Soc., vol. 63, p. 2 (1950)
9. B. BUDIANSKY : Mech. Phys. Solids, vol. 13, p. 223-227 (1965)
10. L.J. WALPOLE : J. Mech. Phys. Solids, vol. 17, p. 235-251 (1969)
11. T.T. WU : Int. J. Solids Structures, vol. 2, p. 1-8 (1966)
12. P. MORLIER : Mem. Scient. Rev. Metall., LXXII n° 6 (1970)
13. P. MORLIER : Coll. int. de Cannes 4-6 octobre (1972)
14. EUDIER : 2ème coll. Mec. et Metall. Tarbes (1973)
15. H.A. KHUN et C.L. DOWNEY : Int. J. Powder Metall. 7, 1; p. 25 (1971)
16. M.EUDIER : Powder Metall. n° 9, p. 278 (1962)
17. B.R. BUTCHER et B.H. HOWLETT : Int. J. Powder Met. 2, p. 29 (1966)
18. R. HAYNES : Powder Metall. 14, p. 64 (1971)

