


**TRANSFORMATION DES  
MÉTAUX ET DES MINÉRAUX**
**Strategis**

Aide    Quoi de neuf    Carte du site    Opinion    Contexte    English

 Passer à ⇨ [Menu principal](#)
**Recherche dans Strategis**

 ⇨ [Information d'affaires par secteur](#)

 ⇨ [Page d'accueil de transformation des métaux et des minéraux](#)

Auteur - Industrie Canada - Traitement des métaux et des minéraux

Date de diffusion - 1999-01-14

## CONGRÈS MONDIAL ET EXPOSITION 1998 SUR LA MÉTALLURGIE DES POUDRES, GRENADE, ESPAGNE

Comme c'est presque toujours le cas avec les conférences consacrées aux métaux, pratiquement tous les pays dotés d'un secteur manufacturier étaient représentés. Cependant, la répartition inégale des pays d'origine des délégués était frappante : si l'Espagne, en tant que pays hôte, était évidemment bien représentée, la majeure partie des délégués venaient du Royaume-Uni, d'Allemagne, des États-Unis, du Japon, de la France, de la Suède et de la Suisse.

Plus de 800 séminaires et une petite exposition commerciale étaient au programme. Voici un résumé de l'information glanée au cours des séminaires, auprès des exposants, dans la documentation distribuée et auprès des participants. (Certains chiffres sur les tailles et les parts de marché varient considérablement selon les sources.) Nous invitons le lecteur à consulter un excellent aperçu du procédé de métallurgie des poudres préparé par l'European Powder Metallurgy Association, à l'adresse Internet suivante : <http://www.epma.com/process/welcome.html>

L'industrie de la métallurgie des poudres est en pleine croissance. D'après l'une des sources consultées, la consommation des produits de cette industrie à l'échelle mondiale est supérieure à un million de tonnes par an, surtout dans l'industrie automobile :

	Europe	Amérique du Nord
Industrie automobile	69%	70%
Mécanique générale	13	8
Équipement/appareils électriques	17	15
Autres	1	7

La voiture nord-américaine moyenne peut maintenant renfermer plus de 30 livres de pièces fabriquées par métallurgie des poudres (pièces MP), ce qui représente un taux de croissance à deux chiffres au cours des dernières années. On s'attend à ce que le poids des pièces MP entrant dans la construction des voitures américaines atteigne 50 livres d'ici l'an 2000. Il semble que les véhicules européens contiennent moitié moins de pièces MP, mais le taux devrait doubler d'ici l'an 2000.

Il existe deux niveaux importants de valeur ajoutée dans cette industrie : la fabrication de la pièce finale et la fabrication de la poudre. Voici quelques comparaisons des prix de métaux communs et des prix des poudres, à partir de données présentées dans le *Metal Powder Report* du 13 août 1998 :

## \$ÉU/lb

Métal	LME	EPMA
Aluminium	0,64	2,46
Cuivre	0,79	1,56
Étain	2,82	3,34-3,59
Plomb	0,26	1,14-1,33
Zinc	0,5	1,48-3,20

### Applications de la métallurgie des poudres

Les applications de la métallurgie des poudres sont nombreuses et variées, parfois sans relation apparente, et leur nombre croît rapidement. Dans son stand dénommé « Vitrine mondiale », l'EPMA exposait quelque 226 produits divers fabriqués à partir de poudres métalliques : diverses pièces de moteur, de systèmes de transmission et d'amortisseur automobiles; pièces d'outils électriques et d'appareils ménagers; matériaux durs et aciers haute vitesse; fournitures électriques et matériaux pour moteurs électriques; pièces pour l'industrie aérospatiale; pièces MIM; aimants; matériaux pour filtres et matériaux de frottement, et diverses pièces utilisées dans les nouvelles technologies.

Pour des raisons de simplicité, les produits fabriqués à partir de poudres métalliques peuvent être divisés en deux groupes : les produits pour lesquels la métallurgie des poudres constitue l'unique ou le meilleur moyen d'obtenir le résultat recherché et ceux pour lesquels la métallurgie des poudres est plus économique que les techniques classiques, à condition que les pièces puissent être fabriquées de façon suivie avec des propriétés équivalentes à celles des pièces forgées, coulées, embouties, etc.

### Avantages de la métallurgie des poudres

On peut opter pour la technologie des poudres métalliques à cause des avantages du procédé ou à cause des propriétés du produit final :

- La métallurgie des poudres permet de produire des **métaux réfractaires** qu'il est difficile d'obtenir autrement à cause de leurs points de fusion élevés. Ces métaux sont également plus ductiles lorsqu'ils sont fabriqués à partir de poudres métalliques.
- On utilise également la métallurgie des poudres pour fabriquer des **matériaux composites**, qui sont soit des combinaisons de métaux insolubles, soit des combinaisons de métaux et de non-métaux. Plusieurs sous-groupes de matériaux composites présentent un intérêt particulier :
  - Les *métaux durs* ou carbures frittés, dont le plus connu est le carbure de tungstène, sont utilisés pour les outils de coupe et les poinçons pour gros travaux.
  - *Outils de coupe au diamant.*
  - Les *produits forgés* ont une résistance supérieure en raison de la présence d'oxydes répartis au sein de la matrice métallique.

- *Les produits de frottement*, comme les patins de frein, renferment des matériaux non métalliques au sein du métal afin de permettre un meilleur frottement.
- Il existe deux catégories importantes pour lesquelles on recherchera avant tout une porosité contrôlée, plutôt qu'une densité maximale. Il s'agit des *filtres* métalliques et des *coussinets autolubrifiants*.
- Les *aciers haute vitesse* et les *superalliages à base de nickel* produits à partir de poudres métalliques ont des microstructures améliorées et, partant, de meilleures propriétés.
- Le *prototypage rapide* et la *fabrication directe* sont obtenus en soumettant des couches successives de poudre métallique à un frittage laser sélectif.
- *Aimants*

### Économies de coûts

Une grande partie du potentiel de croissance de la métallurgie des poudres est attribuable aux économies que cette technologie permet de réaliser, surtout dans l'industrie automobile. Pour cela, il faut que les pièces MP offrent le même rendement que les pièces coulées ou forgées correspondantes. On avance que la métallurgie des poudres permet des économies importantes parce que le rendement est supérieur, ce qui réduit le coût de la refonte, et parce qu'elle permet d'obtenir des pièces de haute précision dimensionnelle, ce qui élimine les coûts élevés de l'usinage subséquent.

## SÉMINAIRES

### Nouveaux aciers inoxydables pour le moulage par injection de métal (MIM)

- l'acier inoxydable représente plus de 50 % des ventes de pièces MIM
- l'acier 17-4PH représente plus de 90 % de ces aciers aux États-Unis
- l'acier austénitique 316L représente plus de 80 % des nouveaux aciers inoxydables en Europe
- propriétés recherchées pour les produits en contact avec le corps : antiallergène (pas de nickel), non magnétique et plus grande dureté; un matériau utilisé pour le procédé MIM appelé *Catamold (R) Panacea*, un acier Cr-Mo-Mn, a été mis au point pour remplacer les aciers Cr-Ni
- les pièces MIM ont accaparé principalement la part de marché occupée auparavant par le moulage à cire perdue

### Pièces MP creuses obtenues par la technique au gaz

- cette technologie est une adaptation du moulage de thermoplastique par injection
- La matière première est injectée perpendiculairement, puis elle est poussée vers l'avant par injection d'azote sous pression moyenne
- il n'est pas nécessaire d'appliquer une pression pour retenir le moule
- il existe un certain nombre de restrictions concernant la forme
  - il faut éviter les arêtes vives
  - l'épaisseur doit être uniforme
  - la largeur ne doit pas valoir plus de 3 à 5 fois la hauteur
  - la longueur doit être égale à au moins 5 fois la hauteur
  - il faut prévoir un orifice pour permettre aux gaz de s'échapper pendant le frittage
- le procédé présente plusieurs avantages :
  - économies de matériau de 50 % à 70 %
  - nouvelles conceptions possibles
  - temps de refroidissement réduit

- retrait uniforme
- contrainte résiduelle moindre
- force de serrage nécessaire réduite
- trajet d'écoulement plus long
- temps d'élimination du liant plus court (un quart)

### **Analyse tridimensionnelle complète par éléments finis du processus de remplissage dans le moulage par injection de poudre, tenant compte du phénomène de glissement**

- il s'agit là d'une tentative de modéliser l'écoulement d'un mélange poudre/liant dans le moule; le modèle tient compte du phénomène de glissement, de la limite conventionnelle d'élasticité et de la contrainte de cisaillement
- le processus dépend de la température et du matériau; l'écoulement et le transfert de chaleur sont les principaux phénomènes modélisés
- ce modèle représente un progrès par rapport au modèle de la vitesse de glissement en ce sens qu'il tient compte de l'effet d'une fine couche de liant entre la poudre et la paroi du moule
- l'analyse tridimensionnelle est nécessaire à cause de la fréquence de sections épaisses dans les pièces MIM

### **Procédés haute densité pour la fabrication de pièces MP**

- la tendance croissante à la miniaturisation des composantes dans l'industrie automobile exige une résistance accrue des pièces - en métallurgie des poudres, cela signifie une plus haute densité
- il existe deux moyens d'obtenir ce résultat : compression à tiède et lubrification de la paroi de la matrice
- le rapport entre les surfaces pressantes et la section transversale de la pièce constitue un paramètre crucial - avec un poinçon inférieur fixe (utilisé seulement pour l'injection), il y a trois sources de pression : le poinçon inférieur, le poinçon supérieur et la pression radiale
- on a constaté que la lubrification de la paroi de la matrice était la variable la plus efficace : la pression exercée par le poinçon inférieur est approximativement égale à la pression exercée par le poinçon supérieur, les surfaces sont lisses et la résistance à cru est supérieure
- la compression à tiède (120°C) avec un lubrifiant à 1 % n'influe pas de façon notable sur la pression radiale
- on a observé que le lubrifiant était le facteur déterminant pour obtenir une densité plus élevée et que l'emploi d'un lubrifiant extérieur, qui se traduit par une absence de lubrifiant dans le comprimé, donnait de meilleurs résultats

### **Porosité et propriétés des aciers frittés très résistants comprimés à tiède**

- dans cette étude, on a comparé la compression à tiède et la compression à froid (température ambiante)
- la compression à tiède s'effectue à 130°C; l'acier est ensuite soumis à un frittage, puis à une nouvelle compression à 150°C et le frittage principal s'effectue à 1120°C
- la densité de la pièce frittée, la limite conventionnelle d'élasticité, la résilience, etc. étaient supérieures avec les aciers comprimés à tiède en raison de la plus haute densité
- les pores sont plus petits et la densité est plus élevée (7,21 contre 7,36)
- la résistance à la fatigue est supérieure à celle obtenue avec des procédés 2C2F simples
- le lubrifiant, qui est différent de celui utilisé dans les autres procédés, est complètement éliminé

### **Comportement des mélanges de poudres d'acier traités par compression à tiède**

- la malléabilité de l'acier augmente avec la température, d'où une réduction de la limite conventionnelle d'élasticité, ce qui se traduit par une densité plus élevée et une résilience deux fois plus grande à une température de 120-130°C
- la compression à tiède améliore l'aptitude à l'écoulement et la compressibilité ainsi que le frottement sur les parois de la matrice - ce dernier facteur permet une meilleure compression, facilite l'éjection (force moins intense et surfaces de bonne qualité) et réduit la contrainte exercée sur la matrice
- les quantités de lubrifiant et de liant, qui donnent lieu à la formation de pores pendant le frittage, peuvent être réduites
- il est possible d'atteindre une densité relative de 98 % dans le comprimé - des taux plus élevés entraîneront la formation de fissures par laminage
- une plus grande teneur en lubrifiant entraîne une réduction de la densité; c'est ce qui explique pourquoi on utilise de plus en plus les lubrifiants sur les parois de la matrice
- le lubrifiant influe également sur la compressibilité et sur la facilité de l'éjection (donc sur la qualité de la surface)
- le liant influe sur l'aptitude à l'écoulement, sur la stabilité, sur la résistance au poussierage et sur la stabilité de la densité apparente
- ces propriétés sont importantes dans le procédé :
  - à l'état cru et à l'état fritté
  - pour l'uniformité d'une pièce à une autre
  - pour la résistance aux variations de production
- la température optimale pour accroître la densité du comprimé se situe dans la plage 90-120°C à cause de l'effet de « détente » au moment de l'éjection
- la « détente » est liée à la dilatation de la pièce lorsqu'elle est éjectée de la matrice; elle dépend de la température, de la pression et de la hauteur de la pièce - il est possible d'obtenir une densité optimale et une détente minimale à 110°C
- une grande partie de la densité perdue à cause de la détente peut être récupérée pendant le frittage

### **Fabrication d'alliage par des moyens mécaniques : une solution possible pour les alliages Nb<sub>3</sub>Al**

- L'alliage Nb<sub>3</sub>Al apparaît comme un alliage structural intéressant pour l'industrie aérospatiale en raison de sa masse volumique relativement basse et de sa résistance à l'oxydation; cependant, il est trop fragile à la température ambiante et il est peu résilient à température élevée.
- la solution à ces inconvénients consiste à réduire la taille des grains et à les rendre plus homogènes
- on procède à un broyage mécanique d'un mélange de poudres renfermant 82 % de niobium et 18 % d'aluminium pendant 85 heures, puis à une compression à chaud à 1150°C - après 45 heures de broyage, on obtient une solution sursaturée de niobium.
- propriétés résultantes : limite conventionnelle d'élasticité accrue à température ambiante et à température élevée (elle commence à diminuer à 1000°C), ductilité limitée
- résilience accrue due à des grains plus fins et à une dispersion d'oxyde
- les chercheurs vont maintenant expérimenter l'ajout de chrome et de vanadium

### **Caractérisation rapide de l'usinabilité de pièces MP en acier**

- ce séminaire était très intéressant car il a été montré que les défauts ne deviennent souvent apparents que pendant la dernière opération, l'usinage, alors qu'ils ont peut-être été introduits au cours de l'une des premières étapes, souvent éloignées à la fois dans le temps et géographiquement - en fait, cela peut s'appliquer à de nombreux procédés

- exemples de caractéristiques négatives qui peuvent rester cachées jusqu'au moment de l'usinage :
  - porosité - peut entraîner une discontinuité dans la coupe et réduire la conductivité
  - variations de dureté et de résilience
  - teneur en carbone variable - de préférence perlitique à 0,3 %
- tout cela se traduit par un manque de connaissance des paramètres de la pièce et de l'outil de coupe
- il faut pouvoir disposer d'un essai précoce de la pièce frittée, qui donne des résultats dans les 10 à 20 minutes suivantes
- le conférencier a passé en revue les techniques de mesure existantes, telles que la mesure de la quantité de métal coupée avant la défaillance de l'outil, la mesure de la force de coupe requise, la mesure de la qualité de la surface, le comptage du nombre de trous forés avant la défaillance de l'outil, et la mesure de la température de coupe
- la méthode proposée consiste à chronométrer le forage d'un trou de 2 mm de diamètre et de 9 mm de profondeur avec une poussée constante, une vitesse élevée et une force de faible intensité, sans lubrifiant

### **Comment améliorer l'usinabilité de pièces MP forgées**

- les pièces MP peuvent présenter des avantages par rapport aux pièces forgées classiques - les avantages peuvent être liés au procédé ou au matériau
- les auteurs de l'étude ont ajouté du MnS à la poudre d'acier pour améliorer son usinabilité, mais ils pensaient que le MnS pouvait avoir d'autres effets
- ils ont installé une foreuse expérimentale pour mesurer l'avance, la vitesse, le couple et la poussée neuf fois par seconde
- ils ont observé que le MnS était un lubrifiant efficace, qu'il permettait de réduire l'oxydation et que les copeaux étaient plus gros
- ils ont constaté que la poussée et le couple étaient de bons indicateurs de l'usinabilité et que le MnS améliorait ces propriétés

### **Mise au point de matériaux dotés d'une limite de fatigue plus élevée**

- l'étude concernait la mise au point de matériaux résistants à la fatigue et très résilients, ainsi que les procédés de fabrication d'engrenages, de tringlerie, etc.
- les propriétés visées étaient les suivantes : masse volumique de 7,4 g/cm<sup>3</sup> et limite de fatigue de 300 MPa.
- propriétés indésirables à éliminer : inclusions et pores interconnectés
- les auteurs de l'étude ont augmenté la teneur en molybdène à 0,8 % et ajouté du nickel et du graphite pour stabiliser l'austénite
- la compression s'est faite à tiède sous pression (900 MPa, 130°C) et le frittage a été réalisé à 1120°C.
- l'ajout de graphite, jusqu'à 0,8 %, et le revenu ont amélioré les propriétés
- lorsque la masse volumique est élevée, les inclusions ont un effet négatif majeur, mais l'effet est insignifiant lorsque la densité est plus faible (7 - 7,1)

### **Résistance à la fatigue d'aciers MP alliés, perfectionnés, de haute densité, destinés à la construction de groupes propulseurs de haute performance**

- le sujet à l'étude était la fatigue en flexion dans les boîtes de transmission et les disques d'embrayage, ainsi que dans les roues à came et la tringlerie
- un acier MP de masse volumique 7,0 gm/cm<sup>3</sup> peut remplacer l'acier forgé classique dans un éventail limité de pièces soumises à des contraintes

- pour élargir la gamme des applications à la tringlerie et aux boîtes de transmission, il faut améliorer les propriétés de l'acier
- améliorations possibles : alliage, frittage à haute température et densité du coeur ou à la surface accrue
- le but était d'essayer de reproduire les propriétés de l'acier laminé à chaud AISI 1020
- l'ajout de Mn a quadruplé la performance et l'ajout de Mo l'a améliorée de 20 %
- l'introduction d'éléments d'alliage et le frittage à haute température n'ont pas donné les résultats attendus
- les auteurs de l'étude ont obtenu une densité du coeur de 7,5 et une densité sélective à la surface
- les essais de résilience classiques n'ont rien donné parce que les éprouvettes se pliaient au lieu de se casser - il convient d'utiliser un essai sur éprouvette entaillée
- les auteurs de l'étude ont comparé le produit fabriqué à partir de poudres métalliques à l'acier en termes de résistance à la traction, limite conventionnelle d'élasticité, élongation et dureté
- ils ont procédé à une densification complète localisée de surfaces soumises à des contraintes élevées dans le but d'essayer de limiter les contraintes sur la fine couche superficielle
- ils ont ainsi obtenu un produit MP dont la performance pouvait être comparée (90 %) à celle de l'acier
- on peut également utiliser le grenaillage de précontrainte pour accroître la résistance à la fatigue des produits frittés de haute densité
- les auteurs de l'étude ont conclu que les produits MP peuvent concurrencer l'acier dans les pièces d'automobile soumises à des contraintes élevées

### **Optimisation de l'élimination thermique du liant à partir de la théorie du séchage**

- il y a plusieurs facteurs qui freinent l'essor du procédé MIM :
  - risque d'endommager le comprimé - fissures, cloques et déformation
  - procédé long et coûteux
  - coût élevé du développement technique
- les facteurs sont de deux ordres : matériau et procédé
- les modèles analytiques et empiriques existants ont des limites - le rapport présenté portait sur un modèle semi-empirique basé sur des modèles du séchage, puisque les procédés sont analogues
- le liant s'évapore en surface et il est transporté vers cette surface par capillarité; toutefois, il arrive qu'en un certain point les forces capillaires ne soient pas suffisantes pour transporter le liant jusqu'à la surface
- ce point dépend de la capillarité et de la diffusivité du comprimé
- les liants utilisés étaient de la cire de polyéthylène, de l'acide stéarique et de la paraffine
- le modèle permet de déterminer les caractéristiques de l'élimination du liant en fonction de l'écoulement de gaz, de la température, des vitesses de chauffage, de la durée de maintien et de la forme du comprimé

### **Nouveau procédé d'assemblage de pièces obtenue par moulage par injection de poudres pour des pièces fonctionnelles et complexes**

- Le moulage par injection de poudres (MIP) permet de produire des pièces complexes de haute précision dimensionnelle, de densité élevée et de haute performance; toutefois, le fait de devoir utiliser une matrice limite les configurations possibles
- le rapport présenté portait sur l'assemblage de deux pièces obtenues par moulage par injection de poudres de même nature (fer et fer) et de natures différentes (fer carbonyle et acier inoxydable), en utilisant la cire exsudée pendant l'élimination du liant
- on utilise un solvant pour éliminer partiellement le liant et la cire exsudée lie les deux pièces -

- l'élimination finale du liant est réalisée thermiquement et la pièce est ensuite frittée
- le fait d'augmenter la température lorsqu'on utilise le solvant qui sert à éliminer le liant peut entraîner une déformation
  - un revêtement de  $Al_2O_3$  peut empêcher la déformation jusqu'à 358°C
  - dans le cas de l'assemblage fer-fer, lorsqu'on utilise une température plus élevée et  $Al_2O_3$ , les surfaces de cisaillement entre les pièces sont plus rugueuses, ce qui signifie que la liaison sera plus forte
  - la résistance au cisaillement à 358K est la même que pour une pièce unique
  - dans le cas de l'assemblage fer-acier à 358K, la surface était également rugueuse, mais, à cause des vitesses de retrait différentes, il s'est formé une fissure à la jointure dans une atmosphère d'hydrogène; on peut remédier à ce problème en assemblant les deux pièces sous vide - l'atmosphère d'hydrogène provoque une décarburation et une transformation de la microstructure martensitique en microstructure ferritique
  - le fer et l'acier inoxydable s'assemblaient bien à 1573K, avec une résistance au cisaillement semblable à celle d'une pièce unique
  - lorsqu'on élève la température de l'acier inoxydable, la liaison devient parfaite, mais il se produit une certaine diffusion de nickel à l'interface avec formation d'alliage
  - les résultats de l'étude permettent de conclure que les possibilités de fabriquer des pièces MIP de plus en plus complexes sont très grandes

### Comportement au frittage d'une poudre nanocomposite W-15% Cu moulée par injection

- cette recherche portait sur l'utilisation de montures MP pour les céramiques utilisées en microélectronique dans les dissipateurs thermiques, les cartes-mères et les brides de fixation
- les caractéristiques recherchées étaient les suivantes :
  - coefficient de dilatation thermique équivalent à celui des céramiques
  - conductivité thermique élevée
  - pleine densité
  - microstructure homogène
  - pas d'additifs
- les auteurs de l'étude ont utilisé un alliage W 10-15 % Cu à cause des propriétés suivantes :
  - conductivité thermique élevée
  - stabilité dimensionnelle
  - résilience élevée
  - microabsorption
  - mise en forme complexe
- la taille des particules de tungstène est critique
- les chercheurs ont broyé un mélange de  $WO_2$ , CaO (15 %) et d'alcool méthylique dans un broyeur à attrition pendant une heure; ils l'ont ensuite séché à 60°C, puis ils l'ont laissé en présence de  $H_2$  à -70°C
- le but était d'obtenir une densification complète, un retrait isotrope et l'homogénéité de la pièce moulée par injection de poudre
- après élimination du liant, le comprimé présentait une bonne forme et une surface exempte de défauts; il présentait également une bonne résistance à la désagrégation après le frittage
- lorsque la température d'élimination du liant se rapproche de 1250°C (à raison de 5°C/min) l'anisotropie de retrait des pièces MP et MIP converge, bien que le retrait et le taux de retrait soient plus grands pour les pièces MP que pour les pièces MIP pendant le chauffage
- la pièce MIP présente une homogénéité microstructurale et une taille de grain plus petite



## Fabrication et caractérisation de pièces en titane de faible densité

- la demande de pièces structurales de faible densité et de grande précision dimensionnelle est de plus en plus forte - l'accent a été mis sur le titane, l'aluminium, les aciers inoxydables et le nickel
- cette étude portait sur la production de pièces de faible densité fabriquées à partir de poudres de titane, en utilisant comme agents porogènes des composés organiques à haut point de fusion, des sels alcalins et des métaux à bas point de fusion tels le magnésium, le silicium et le plomb
- ces derniers sont préférables à cause de leur réactivité avec le substrat et les impuretés résiduelles
- on peut utiliser la mousse résultante comme matériau d'absorption de l'énergie, du son et de la chaleur ainsi que comme supports physiques
- Ti et l'agent porogène ont été mélangés, comprimés et chauffés à 1250°C
- les auteurs de l'étude ont utilisé deux agents porogènes, l'urée et un mélange d'urée et d'hydrure de titane
- la porosité obtenue variait entre 70 % et 80%
- la structure obtenue était plus homogène et poreuse avec un agent porogène angulaire plutôt que sphérique
- l'hydrure de titane a des particules plus petites et est plus facile à comprimer que le titane
- un mélange de Ti et  $TiH_2$  est plus stable, il renferme moins de contaminants et il donne un meilleur frittage
- les auteurs de l'étude envisagent d'utiliser un alliage de Ti biocompatible et de trouver un moyen de faire varier la porosité en variant la forme de l'agent porogène

## Procédé de fabrication de mousse métallique à l'aide d'une méthode fondée sur la métallurgie des poudres

- l'étude portait sur un procédé de fabrication d'une structure de mousse consistant à mélanger une poudre métallique et un agent moussant (substance dégageant un gaz) - les auteurs de l'étude ont utilisé de l'aluminium, de l'acier, du plomb et du zinc
- l'aluminium est chauffé à 616 °C, température à laquelle un hydrure métallique se convertit en hydrogène - on obtient ainsi une porosité de 80 % à 90 %
- les avantages sont les suivants :
  - faible densité
  - absorption efficace d'énergie
  - rigidité à la flexion élevée
  - conductivité réduite
  - amortissement mécanique et acoustique
  - usinabilité
  - produit recyclable
- les variables sont les suivantes :
  - alliage
  - densité/porosité
  - morphologie - forme des pores
- les auteurs de l'étude ont eu des problèmes avec l'acier car les agents moussants réagissent avec ce métal; toutefois, ils ont réussi à obtenir une porosité de 60%
- applications :
  - échangeurs de chaleur
  - matériau filtrant amovible
  - mise en forme par extrusion
  - absorption des chocs
- les expériences ont montré qu'une forme en acier renfermant une mousse d'aluminium est 2,5 fois

- plus résistante qu'une forme en acier creuse
- la technologie permet de produire des pièces tridimensionnelles qui sont plus résistantes que de simples pièces estampées
- il est également possible de produire des « sandwiches » métalliques
- possibilité de multiplier la rigidité par 10 et de diviser le poids par 2
- des travaux sont en cours sur un procédé de moussage en continu qui permettrait d'obtenir des sandwiches pratiquement sans fin de mousse d'acier/aluminium entre deux pellicules d'acier de 0,5 mm

### **Frittage et caractérisation de structures en fibres métalliques hautement poreuses et utilisation de ce matériau comme absorbant**

- il existe depuis toujours une large gamme d'applications des filtres longue durée ayant une porosité supérieure à 95 % - ces filtres ont une structure rigide et possèdent une résistance chimique et biologique, une résistance aux chocs thermiques, une résistance à la corrosion à chaud et de bonnes propriétés mécaniques
- il est possible d'obtenir une porosité de 35 % avec une poudre sphérique, de 50 % avec une poudre non sphérique et de 95 % avec des fibres, tout en augmentant la résistance et la plasticité
- on peut fabriquer les fibres par arasage, laminage de feuille mince ou tréfilage de faisceaux; toutefois, ces méthodes sont coûteuses, les risques de contamination sont grands et les propriétés des matériaux constituent des facteurs limitants
- l'auteur de cette étude a inventé un nouveau procédé dit d'« extraction de métal fondu en creuset » que l'on peut résumer ainsi : une roue d'extraction saisit le métal fondu qui se trouve dans un creuset chauffé par induction et projette ce métal à l'extérieur de telle sorte que le métal se solidifie sous forme de fibres de 50-700µm
- voici quelques-unes des caractéristiques du procédé classique de frittage de fibres :
  - faible contact entre les fibres
  - faible consolidation et, partant, faible liaison
  - frittage réel très limité
  - contamination et oxydation
  - temps de frittage bref et basse température
- l'auteur, qui a travaillé avec Al, Cu, NiAl et de l'acier inoxydable, a obtenu des structures composées de fibres de 12-25 mm X 80-200 µm et ayant une porosité de 70% à 96 % - la température de frittage variait avec le diamètre de la fibre
- Al et Cu doivent être frittés sous vide, à des températures voisines de leurs points de fusion
- l'acier inoxydable est fritté sous vide ou dans une atmosphère de H<sub>2</sub>Ar à 1250°C et Ni<sub>3</sub>Al doit être fritté sous vide
- le produit obtenu présentait une dureté uniforme (sauf Ni<sub>3</sub>Al) ainsi qu'une distribution uniforme des éléments
- les fibres plus fines absorbent mieux le son
- on peut abaisser la température de frittage en enduisant les fibres d'un revêtement

### **Besoins des constructeurs d'automobiles à l'heure de la mondialisation**

- les nouvelles demandes des gouvernements et des consommateurs obligent les constructeurs à apporter des changements dans la technologie du groupe propulseur qui, à leur tour, imposent des changements dans les matériaux requis
  - moteurs plus petits
  - densité de puissance plus élevée

- moindre coût; qualité, fiabilité et durabilité accrues
- changements dans les transmissions : rapports plus longs; plus de vitesses et densité de puissance accrue (capacité de transmission de puissance de deux surfaces en contact)
- un certain nombre de possibilités ont été cernées, selon le matériau :

#### Aluminium

- pompes à huile de la boîte de vitesse
- pignon du volant du vilbrequin
- tringlerie : problème à cause de la fatigue thermique >150°C

Néanmoins, il faut résoudre certains problèmes : résistance à l'usure, uniformité, fatigue thermique, module d'élasticité.

#### Alliages ferreux

- sous-ensembles
- synchroniseurs de transmission manuels
- boîtes et pignons de transmission automatiques
- pistons, tringlerie axes de pied de bielle et paliers
- couronnes de train planétaire

- les constructeurs d'automobiles veulent abandonner les pièces coulées au profit des pièces fabriquées à partir de poudres métalliques car ces dernières permettent d'obtenir des pièces de haute précision dimensionnelle à un moindre coût; elles permettent également des densités de puissance plus élevées, donc un meilleur rendement
- principales exigences : résistance à la fatigue en flexion des dents et résistance à la fatigue de contact des surfaces
- problème majeur dans le cas des engrenages : les tolérances n'augmentent pas avec la taille de l'engrenage
- plusieurs conditions ont été définies pour accroître la compétitivité des pièces MP dans l'industrie automobile :
  - densité de 97% à une profondeur de 0,8 mm
  - les concepteurs ont besoin d'une norme commune mondiale
  - base de données sur les propriétés physiques - les pièces MP sont désavantagées par rapport aux pièces forgées et coulées
  - réduction du temps nécessaire pour produire une éprouvette de haute précision dimensionnelle pour les essais
  - normes ISO pour les concepteurs, non pour les technologues en métallurgie des poudres - faciles à comprendre et comparables
  - amélioration de la technologie de la métallurgie des poudres - remplissage et écoulement de la poudre, modélisation du compactage et du frittage
  - exigences concernant les engrenages : densité de puissance, capacité de transfert des efforts et précision dimensionnelle accrues

Le facteur déterminant du point de vue de la concurrence peut se résumer à la question suivante : « Qu'est-ce que l'industrie automobile est prête à payer pour économiser une livre? » Ainsi, l'aluminium pèse deux fois moins lourd que l'acier, mais on ne peut pas vraiment profiter de cet avantage car les propriétés de l'aluminium sont inférieures, par exemple il est plus flexible - en règle générale, l'économie est inférieure à 40%; la durée de vie de l'aluminium est également plus courte, à cause de la fatigue

**Mise au point de rotors de pompe soudés par diffusion résistants à la fatigue par corrosion,**

### **fabriqués avec des aciers MP inoxydables**

- le facteur positif pour les poudres métalliques, dans ce cas, est ironiquement la petite taille du marché - 50 000 par an, ce qui n'est pas rentable pour les pièces coulées
- le rotor de pompe est un assemblage complexe obtenu en liant par frittage deux pièces fabriquées à partir de poudres métalliques
- deux disques sont comprimés à 1000°C puis assemblés par frittage à 1280°C
- les auteurs de l'étude ont ajouté 0,2 % de cuivre et 0,7 % de phosphore pour limiter le retrait des deux éléments pendant le frittage et pour accroître la densité et la taille des grains
- ils ont ainsi obtenu un produit résistant à la corrosion et à la contrainte pour lequel les avantages liés aux propriétés étaient encore plus grands que les avantages liés aux coûts

### **Mise au point et application d'un revêtement optimisé sur les éléments d'amortisseur**

- l'objectif était de réduire le coefficient de frottement et d'accroître la résistance à l'usure dans les guides d'arbre et les clapets pistons
- exigences : précision dimensionnelle, dureté et résilience, et pureté supérieure à 99,3%
- traditionnellement, le piston de l'amortisseur avait pour joint d'étanchéité un ruban de plastique de 1 mm
- avec le piston fabriqué par métallurgie des poudres, on obtient le joint d'étanchéité en pulvérisant une couche de céramique de 0,8 mm
- ce nouveau produit a été mis au point conjointement par le fournisseur de pièces MP, le constructeur et le client

### **Recyclabilité et conséquences pour l'environnement des produits MP, sur tout le cycle de vie**

- l'objectif était de mener une évaluation sur le cycle de vie, basée sur les normes ISO 14040 et 14041
- l'étude comportait deux volets : répercussions des divers procédés sur l'environnement et recyclabilité des alliages
- l'analyse a porté sur un acier Fe-C-Cu classique
- les auteurs de l'étude ont analysé les émissions de divers polluants en fonction de la résilience du produit - c'est le frittage qui semble produire le plus d'émissions (SOx, NOx et gaz à effet de serre)
- les problèmes du recyclage étaient centrés sur la tendance de l'acier à emprisonner d'autres éléments
- trois types de recyclage : alliage-alliage, extraction et dilution
- la recyclabilité est déterminée par le degré de dilution requis
- les alliages fabriqués à partir de poudres métalliques sont les moins faciles à recycler et, parmi eux, le FeCu est le pire
- il y a deux façons d'améliorer cette situation :
  - restreindre l'emploi de métaux rares à la partie critique de la pièce
  - obtenir les propriétés désirées en modifiant la microstructure plutôt qu'en ajoutant d'autres éléments

**Remarque :** L'EPMA avait un grand stand dans lequel étaient exposées les différentes applications de la métallurgie des poudres. L'une d'entre elles était particulièrement pertinente. Apparemment, les automobiles peuvent renfermer jusqu'à 80 moteurs électriques. Lorsqu'un véhicule est broyé, il devient pratiquement impossible de séparer les feuilles d'acier des enroulements de cuivre. Les chercheurs travaillent actuellement à la mise au point de tôles d'acier friable, fabriquées à partir de poudres métalliques, qui permettront de séparer plus facilement les feuilles d'acier et les enroulements de cuivre

### Modélisation tridimensionnelle de la compression à chaud isostatique

- il s'agissait d'une expérience visant à analyser l'efficacité d'une simulation thermomécanique (Precad), en comparaison avec la pièce fabriquée réelle
- la pièce a été soumise à une compression isostatique à chaud, compactée à froid et frittée; les auteurs de l'étude ont ensuite analysé la densité et la taille des grains
- le maillage a pris de 4 heures (2D) à 72 heures (3D) selon la taille des mailles; la seule différence était le manque de précision de forme avec les grandes mailles
- le gradient était de 9°C avec la modélisation 2D, contre 19°C avec la modélisation 3D
- l'erreur était plus grande avec la modélisation 2D qu'avec la modélisation 3D (0,44 contre 0,001)
- les auteurs de l'étude ont conclu que les grandes mailles convenaient pour la conception générale et les mailles fines pour les détails

### Performance des joints obtenus par assemblage par fusion d'un bronze MP et d'un acier

- à cause de la fragilité des produits poreux obtenus par les procédés de métallurgie des poudres, les paliers en bronze doivent être emmanchés à la presse dans des coques d'acier
- maintenant, l'emmanchement à la presse n'est généralement plus pratiqué qu'avec les pièces de haute densité
- l'assemblage par fusion comporte plusieurs étapes :
  - contact
  - formation d'interfaces cristallines
  - diffusion aux interfaces cristallines
- une poudre de bronze phosphoreux CuSn10 renfermant 1 % de graphite a été comprimée et frittée avec une porosité de 25 %
- les deux pièces ont été soudées par diffusion à 5, 15, 25 et 50 MPa et 600, 700, 740 et 800°C, pendant 5, 30, 60, 90, 120 et 150 minutes
- la résistance de la soudure était directement proportionnelle au temps et une atmosphère d'hydrogène accélérerait considérablement le processus (plus que l'argon)
- la diffusion du cuivre était considérablement accélérée au-dessus de 25 MPa
- la diffusion du cuivre variait de façon linéaire avec la température au-dessus de 650°C
- il n'y avait pas liaison à 5 minutes ou à une température inférieure à 650°C
- la porosité se déplaçait vers l'interface

### Assemblage de CMM et d'un métal

- l'expérience portait sur l'assemblage de composites renfermant 20 % de fibres de carbone
- les deux matériaux étaient fabriqués à partir de CuCr1 et CuZr1
- une came et un engrènement ont été assemblés par diffusion pendant le frittage : l'engrenement a été comprimé à tiède et la came a été compactée par la méthode classique; les deux pièces ont été emmanchées à la presse et frittées à 1200°C, dans une atmosphère d'ammoniac, puis elles ont été soumises à un traitement thermique
- la différence de dilatation permet de réaliser un assemblage par diffusion à des températures supérieures à 1037°C

### Procédé de compression par écoulement à tiède pour fabriquer des pièces MP de forme complexe

- le problème est de faire en sorte que la poudre se déplace perpendiculairement à la direction du poinçon

- la méthode actuelle requiert des outils complexes ou un usinage subséquent pour obtenir les détails
- la poudre ordinaire présente des fissures dans l'écoulement perpendiculaire à cause des densités différentes
- la compression par écoulement à tiède permet de fabriquer des pièces avec de larges caniveaux, des trous perpendiculaires et un filetage, grâce au réglage de la pression et de la teneur en lubrifiant
- le procédé se situe quelque part entre le moulage par injection de métal et le matriçage
- le matériau utilisé était le Dintaloy AE, 20 % de fer carbonyle et 3 % de liant; il a été comprimé à 600 MPa et 130°C
- le comprimé ainsi obtenu a une faible densité ( $< 7$ ) en raison de la teneur élevée en liant et, partant, il doit être fritté à une température plus élevée
- une pièce en forme de + a été obtenue, sans fissures, en dépit du fait que sa largeur était plus grande que sa hauteur
- on a également réussi à produire une pièce asymétrique et une pièce avec un corps fileté dans l'une des trois directions
- le liant semble être la clef du succès; c'est un lubrifiant et il influe sur l'aptitude à l'écoulement de la poudre, puisqu'ils forment un mélange très visqueux, qui ressemble plus à un liquide qu'à une poudre
- le liant est en plus grande concentration que dans la métallurgie des poudres classique, mais en plus faible concentration que dans le procédé MIM
- il n'y a pas d'écoulement de la pièce pendant le frittage
- avantages du procédé :
  - possibilité de fabriquer des pièces très complexes
  - possibilité d'obtenir une densité variable
  - densité de frittage élevée
  - pas d'étape supplémentaire d'élimination du liant
  - pas de distorsion de frittage
  - possibilité d'utiliser l'équipement classique de métallurgie des poudres
- inconvénients :
  - la poudre fine coûte plus cher
  - retrait plus important
  - densité de compression inférieure

### Mise au point de matériaux pour le frittage laser

- les poudres destinées au frittage laser sont généralement revêtues d'une matière plastique
- le procédé direct de frittage/fusion des particules requiert des particules plus petites
- dans le frittage classique, les particules ne sont pas fondamentalement modifiées; dans le frittage laser, tout est fondu
- propriétés requises pour la poudre :
  - fluidité
  - la taille des particules doit permettre un fini raisonnable
  - le liant doit fondre et constituer une « armature » pour que la poudre ait les propriétés requises
- la fluidité de la poudre dépend de la forme des particules et de la distribution granulométrique, mais plus la poudre est fine, moins elle est fluide; la meilleure combinaison est une forme arrondie et une taille inférieure à 50µm
- il y a plusieurs façons de fabriquer la poudre métallique; certaines conviennent pour le frittage laser, d'autres ne conviennent pas :

Méthode	Forme	Distribution granulométrique	Convient pour le frittage laser
Éponge de fer	irrégulière	large	non
Atomisation à l'eau	irrégulière	large	non
Atomisation au gaz	sphérique	moyenne	oui
Eau sous pression	irrégulière	moyenne	non
Gaz, couplage serré	sphérique	moyenne	oui
Gaz, ultrafine	sphérique	moyenne	oui
nickel carbonyle	pointue	étroite	non

- il y a trois types d'atomisation : ouverte, couplage serré et ultrafine, avec un rendement croissant et un coût décroissant dû au fait qu'il est moins nécessaire de recommencer le cycle; cependant, la poudre ultrafine de granulométrie moyenne 11-13  $\mu\text{m}$  n'est pas très fluide
- il n'est donc pas possible d'utiliser la poudre ultrafine avec les procédés laser existants; toutefois, des modifications sont apportées à ces procédés et il y a des possibilités d'obtenir un meilleur fini

#### Potentiel du procédé PDA (*Phase-Doppler-Anemometry*) pour l'analyse et le contrôle du processus de formage par pulvérisation

- cette expérience consistait à utiliser deux faisceaux laser projetés à travers ou devant le cône de pulvérisation; cette technique permet d'effectuer 50 000 mesures de taille de particule, de masse volumique et de vitesse par quart de seconde
- applications possibles : analyse, modélisation et contrôle de procédé
- les particules sont plus petites et la vitesse est plus grande lorsque la pression du gaz est plus élevée
- les variables sont la pression du gaz, la température de la matière fondue, la distance entre le substrat et la buse, et la taille de la buse

#### Nouveaux alliages corroyés de magnésium fabriqués par le procédé de formage par pulvérisation

- la microstructure du magnésium limite la déformabilité - un nouvel alliage corroyé doté d'une plus grande résilience et d'une plus grande ductilité est nécessaire
- les variables pour le formage par pulvérisation (avec de l'argon et 1,5 % d'oxygène) sont la température de la matière fondue, la température du jet de matière fondue, le débit, la pression, la distance de pulvérisation, la température de réduction et la température d'extrusion
- les auteurs de l'étude ont utilisé des alliages Mg-Ca et Mg-Al-Ca ainsi que des alliages classiques
- les alliages pulvérisés et extrudés ont permis d'obtenir une microstructure fine et homogène ainsi qu'une densité relative de 100 % en raison de la rapidité de la solidification
- sans l'extrusion, la densité relative est de 98% à cause de la porosité

- à la température de la pièce, la ductilité et la résistance à la traction sont supérieures à celles des pièces coulées ou moulées
- le calcium améliore la ductilité aux températures plus élevées

### **Utilisation du procédé de solidification par jet multiphase pour la fabrication de prothèses de hanche**

- le but était de fabriquer des formes libres d'implants chirurgicaux tels que des hanches, des genoux, des vertèbres et des appareils orthodontiques par le procédé de moulage par injection de poudre d'acier 316L ou de matériaux composites à base de titane
- un objectif clé était de réduire au minimum le prélèvement d'os sain, d'où la nécessité d'une structure sur mesure
- propriétés recherchées : résilience élevée, dureté superficielle, compatibilité biologique, faible module, résistance à la corrosion et bon fini superficiel
- traditionnellement, les prothèses sont fabriquées par usinage, forgeage et moulage à cire perdue - on fait rarement appel à la métallurgie des poudres et au moulage par injection de poudre
- dans le procédé en question, on effectue une scanographie bidimensionnelle du patient - l'information est convertie en une image tridimensionnelle, puis en un modèle solide - l'os endommagé est enlevé « théoriquement » et une hanche de remplacement est conçue; les données sont ensuite transférées à une machine de prototypage rapide
- les propriétés de la liaison sont déterminées par la poudre et par le frittage, de telle sorte qu'il est possible d'utiliser des données MIP existantes
- le comprimé est usinable
- cette technique permet de réduire considérablement le temps de rétablissement et une bien meilleure imbrication de l'os et de la prothèse

### **Effet de l'utilisation d'un procédé d'alliage mécanique sur le frittage laser sélectif de poudres métalliques dures**

- le but est de réaliser un frittage laser sélectif sans liant, en utilisant des poudres frittées au laser disponibles dans le commerce (le phénomène physique est en fait un frittage en phase liquide)
- applications envisagées : production de prisonniers de moule pour le moulage par injection de matière plastique, matrices, matrices pour le moulage sous pression et usinage par étincelage
- les matériaux de choix pour ces applications sont les carbures de tungstène, les borures et les carbures de fer, à cause de leur résistance à l'usure et de leur résistance mécanique
- le frittage laser sélectif est un procédé de choix car ces matériaux sont difficiles à usiner
- le résultat des expériences a été décevant, car la densité relative ne dépassait pas 40 % et les surfaces étaient rugueuses - les auteurs de l'étude pensent qu'une infiltration de cuivre pourrait améliorer les résultats

### **Formage rapide au laser de structures en titane**

- l'application envisagée est le formage libre de pièces d'aéronef ayant une densité relative de 100 %, pouvant mesurer jusqu'à 4 m x 1,4 m, pour remplacer à un moindre coût les pièces coulées et forgées en nombre restreint
- ce procédé offre les avantages suivants :
  - faible coût
  - souple - pas de moules ni de matrices
  - 10 % du temps de production habituel
  - lots de 1 à 50 pièces



- commande par logiciel
- possibilité de changer la composition chimique pendant la mise en oeuvre
- coût réduit du matériau et de l'usinage (80 %-90 %)
- délai d'une semaine
- densité relative de 100 %
- possibilité d'utiliser le laser pour ajouter du titane aux pièces forgées ou coulées, par exemple pour réparer des structures défectueuses

#### Délais (semaines)

	Forgeage	Coulée	Formage au laser
approvisionnement en matériau	52	0	2
outillage	16	4	1
conception de la pièce	16	20	1
usinage et traitement thermique	16	6	6

- possibilité d'utiliser des poudres préallées ou des poudres élémentaires mélangées
- répétabilité de +/- 3 mm possible avec une précision dimensionnelle de +0,03" -0,05"
- dépôt de métal à un taux de 2 à 15 livres par heure
- possibilité de fabriquer des alliages sur mesure
- économies de temps et de matériau supérieures à 90 % - possibilité de réduire le temps de production de 18 mois à 30 heures
- possibilité d'incliner le laser à un angle pouvant atteindre 60°, de telle sorte qu'il est possible de produire des nervures, des âmes, des semelles et des anneaux
- possibilité d'ajouter des pattes et des extensions de grande envergure aux pièces coulées et aux pièces forgées, afin d'économiser sur les coûts de la matrice et du moule

#### Exactitude dans le prototypage rapide de pièces en métal

- l'objectif était d'obtenir une exactitude de 99,9 %
- les facteurs qui influent sur le retrait (quantité et vitesse) sont le matériau, l'adjuvant, le liant, la température, le temps et, dans une moindre mesure, l'atmosphère
- le liant et l'ajout de fer avaient un effet sur le contrôle dimensionnel
- une température plus élevée et un frittage plus long se traduisent normalement par un retrait plus important
- il est possible d'obtenir une variation de dimension inférieure à 0,1 %

#### Séance plénière -Europe

- la production de métal dur a augmenté depuis 1988 et le volume a triplé depuis 1985
- c'est pour les métaux de densité supérieure à 7 que la croissance a été la plus importante
- le taux de croissance pour les pièces MP ferreuses a été supérieur à 19 % depuis 1977
- le marché se répartit comme suit (tonnes)

- métal dur 1,8
- pièces structurales 12
- aimants 0,9

ou

- automobile 80 %
- pièces de machinerie 15 %
- machinerie électrique 5 %
- l'intensité de l'utilisation est de 7 kg/voiture (5,7 en 1994), contre 14 kg en Amérique du Nord
- le marché du moulage par injection de métal est de 50 millions d'ECU, ce qui représente 500 tonnes de matière première
- besoins en matière de recherche :
  - concentration sur des normes fondamentales concernant le moulage par injection de métal
  - modélisation
  - amélioration de la conception des produits, des procédés et de la machinerie
  - meilleur contrôle des défauts des comprimés
  - mise au point d'essais non destructifs

### Séance plénière - Amérique du Nord

- le marché est estimé à 487 000 tonnes, ce qui représente une augmentation de 12 %

#### Fer

- croissance moyenne de 10,84 % au cours des six dernières années
- les fabricants de poudres auront accru leur capacité à 658 000 tonnes à la fin de 1998

#### Aluminium

- le marché est de 2 000 tonnes - il passera à 10 000 tonnes en cinq ans
- le marché a connu un taux de croissance de 30 % en 1997; le taux de croissance est estimé à 11 % cette année

#### Acier inoxydable

- le taux de croissance du marché a été de 33 % en 1997 et il sera de 10 % en 1998
- principales utilisations : systèmes d'échappement et anneaux capteurs ABS

#### Données générales

- le marché du cuivre s'établit à 20 429 tonnes, soit une augmentation de 7 %
- le marché mondial du fer et de l'acier a été estimé à 700 000 tonnes et celui du cuivre à 48 000 tonnes

#### Industrie automobile

- intensité d'utilisation de 32,5 lb/véhicule, soit une augmentation de 5 % par rapport à 1997 - elle devrait s'établir à 50 lb en l'an 2000
- principal secteur de croissance : remplacement du fer ductile
- GM a 184 pièces qui pourraient être fabriquées à partir de poudres métalliques

- les plus gros véhicules de Ford (Explorer, Crown Victoria) seront les premiers à atteindre les 50 livres - la conversion du pignon et du châssis du pignon au cours des 18 à 24 prochains mois se traduira par un accroissement du taux d'utilisation des pièces MP de 14 lb par boîte de transmission
- Chrysler utilisera des pièces MP pour un moteur de camion en 2001
- pour que les pièces MP présentent un intérêt pour les constructeurs d'automobiles, il faut que les fournisseurs élargissent leur gamme de produits et qu'ils offrent des systèmes; pour cela, il leur faut mettre au point des technologies d'assemblage de manière à produire des composantes
- cela suppose des regroupements dans l'industrie, un phénomène qui est déjà bien amorcé si l'on en juge par les acquisitions de GKN

## Conclusion

Le sous-secteur de la métallurgie des poudres produit une valeur ajoutée majeure à la fois à l'étape de la production des poudres et à celle de la fabrication. À l'heure actuelle, il est probable que ce soit la production des poudres qui occupe une plus grande place au Canada et les poudres métalliques constituent également une source d'exportation majeure. Il est évident que la recherche est en plein essor dans de nombreux domaines, dont les procédés et le contrôle de procédé, les matériaux et leur caractérisation, et les applications.

Il semble également que se dessinent deux grands domaines de croissance possibles, l'industrie automobile et le frittage laser (prototypage rapide et fabrication directe de produits en nombre restreint).

Les constructeurs d'automobiles semblent tout à fait en faveur de la mise au point de produits présentant des caractéristiques adéquates (ténacité et densité de puissance) pour leur utilisation dans la construction d'automobiles. La grande précision dimensionnelle des pièces MP rend ces pièces très attrayantes car elles permettent aux constructeurs d'économiser sur les procédés subséquents coûteux, tels que l'usinage. Si les prévisions des conférenciers sont exactes, nous pouvons nous attendre à une croissance phénoménale au cours des prochaines années (si 70 % des pièces MP sont destinés à l'industrie automobile et si le taux d'utilisation double en Europe et augmente de 50 % en Amérique du Nord d'ici l'an 2000). Les exemples des récents regroupements dans l'industrie, notamment les acquisitions de GKN, et l'accent mis sur les technologies d'assemblage des pièces MP montrent que l'industrie est consciente du fait que les constructeurs d'automobiles ont plus besoin de composantes que de pièces.

Il existe actuellement plus de 30 procédés de prototypage rapide et la majeure partie de ces procédés est basée sur la métallurgie des poudres. Dans la mesure où le secteur manufacturier adoptera le prototypage rapide comme un procédé nécessaire pour faire face à la concurrence, à la fois en termes de réduction du temps nécessaire pour mettre le produit sur le marché et de réduction des coûts, on peut s'attendre à ce que l'industrie de la métallurgie des poudres connaisse un grand essor.

La fabrication directe de produits en nombre restreint, qu'il s'agisse de prothèses de hanches faites sur mesure ou de 1000 rotors de pompe, semble être un autre domaine très prometteur, là aussi en termes de réduction de temps et de coût. Les technologies existantes, comme la coulée et le forgeage, peuvent se révéler peu rentables pour de telles quantités et la fabrication exige parfois une main-d'œuvre trop importante.

Enfin, les progrès techniques dans les domaines de la métallurgie des poudres traditionnelle et du moulage par injection de métal continuent de se multiplier à tous les niveaux, qu'il s'agisse d'améliorer les procédés et les produits ou d'élargir la gamme d'applications de la métallurgie des poudres.

Tout comme leurs concurrents qui utilisent d'autres procédés, les fabricants qui utilisent divers procédés

de métallurgie des poudres sont tout à fait conscients de la nécessité de réduire le temps nécessaire pour mettre le produit sur le marché et d'améliorer les propriétés physiques et l'uniformité du produit, la qualité du matériau et les paramètres de traitement, le contrôle de procédé, etc, et ils agissent en conséquence.

Raymond Horton  
Téléphone : (416) 954-1430  
Télécopieur : (416) 973-5131

---

[Aide](#) [Quoi de neuf](#) [Carte du site](#) [Opinion](#) [Contexte](#) [English](#) [Haut de la page](#)

**Canada**  
<http://strategis.ic.gc.ca>