

COMPÓSITOS FERRO – COBRE – COBALTO PROCESSADOS VIA METALURGIA DO PÓ¹

Anderson de Paula Barbosa²
Pedro Mendes Gomes³
Hellen C. P. de Oliveira⁴
Renan S. Guimarães⁵
Alexandre S. Crespo⁵
Marcello Filgueira⁶

Resumo

Este trabalho visa o estudo das propriedades mecânicas da liga Fe-Cu-Co, processadas via metalurgia do pó, para futura utilização como ligante em ferramentas diamantadas. O procedimento experimental foi baseado nas composições de Fe-15%Cu com adição de 0%, 10%, 20%, 30% em peso de Co, compactados a uma pressão de 350 MPa, é sinterizados em uma atmosfera de vácuo à 1.150°C/25 min. Ensaio de dureza e de resistência a abrasão verificaram um crescimento da dureza da liga e um menor desgaste com o aumento do teor de cobalto. Este resultado é discutido em termos da formação de uma fase dura entre Fe-Co, mesmo ocorrendo o inchaço no processo de sinterização da liga.

Palavras-chave: Ferramentas diamantadas; Sinterização; Sistema Fe-Cu-Co.

COMPOSITE IRON - COPPER - COBALTO PROCESSADOS VIA OF POWDER METALLURGY

Abstract

This work aims to study the mechanical properties of the alloy Fe-Cu-Co, processed via powder metallurgy, for future use as a binder in diamond tools. The experimental procedure was based on the compositions of Fe-15%wtCu with the addition of (0, 10, 20, 30)%wt Co, pressed at 350 MPa, end sintered in a vacuum atmosphere at 1.150°C/25 min. Tests of hardness and resistance to abrasion indicated increase of the alloy hardness and reduction in wear with the increase of content of cobalt. This result is discussed in terms of the formation of a phase between Fe-Co, swelling occurring in the process of sintering of the alloy.

Key words: Diamond tools; Sintering; System Fe-Cu-Co.

¹ *Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil*

² *Mestrando em Engenharia e Ciências dos Materiais - CCT – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.*

³ *Graduando em Eng. Metalúrgica e de Materiais - CCT – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.*

⁴ *Doutoranda em Engenharia e Ciências dos Materiais - CCT – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.*

⁵ *Técnico do Laboratório de Materiais de Alta Dureza - CCT – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.*

⁶ *Eng. Mecânico, DSc. Engenharia e Ciências de Materiais – Professor Associado (PPGECM) Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais – CCT – UENF, Campos dos Goytacazes, RJ.*

1 INTRODUÇÃO

Por muitos anos o cobalto tem sido usado no processamento das ferramentas diamantadas, por isso, quase a totalidade das ferramentas diamantadas é feita utilizando como ligante o cobalto (Co), em grandes quantidades. O cobalto é utilizado em ferramentas diamantadas devido as suas boas propriedades, tais como elevada aderência aos cristais de diamante, elevada dureza, boa densidade gerando um menor desgaste das ferramentas diamantadas. Porém, problemas são observados; o mesmo é altamente tóxico, quando do seu beneficiamento, é pouco disponível no mercado Brasileiro, apresentando um alto valor comercial.⁽¹⁾

O Brasil está entre os 5 maiores produtores de rochas ornamentais, desta forma cresce as pesquisas por novos materiais que substituam o cobalto na produção de ferramentas diamantadas, mas que garantam as mesmas propriedades das ferramentas.⁽²⁾

As ferramentas diamantadas conhecidas como impregnadas são normalmente produzidos por Metalurgia do Pó, uma técnica de processamento que oferece a facilidade da mistura de diferentes pós e abrange uma larga escala de aplicações, como no processamento de rochas, engenharia civil e na perfuração. Pode-se claramente observar estudos na literatura de ligas como: Cu-Fe-Co, Co-Cu-Sn, Fe-Co-Cu-Sn entre outras.⁽³⁻⁶⁾

Tendo em vista a importância do trabalho para o desenvolvimento do setor de rochas ornamentais, foi realizada análise da resistência mecânica a resistência a abrasão, nas 4 diferentes estequiometrias, Fe15%Cu (0, 10, 20, 30) % peso Co em 10 amostras por composição, o motivo da escolha das estequiometrias baseia-se em resultados obtidos em trabalhos anteriores, onde observa-se que é possível obter ligas ferrosas com reduzido teor de Co, para posterior uso em ferramentas diamantadas.⁽⁷⁾

2 MATERIAL E MÉTODOS

Pós de Ferro, Cobre e Cobalto com tamanhos médios de partículas de 67 µm, 54 µm e 30 µm, respectivamente comprados de Metalpó LTDA foram utilizados neste trabalho. Os pós industriais foram misturados em um misturador cônico industrial durante 25 min, sendo utilizado um lubrificante orgânico (Canfora) 1% peso. Após misturado foram prendados em uma matriz uniaxial de aço temperado à 350 MPa, produzindo compactados cilíndricos de Φ 8x6mm. Estes compactados foram levados a um forno tubular em uma atmosfera de vácuo a 1.150°C/25min, para a sinterização.

A fim de avaliar as propriedades da liga em questão os ensaios foram feitos sem a adição de diamante, desta forma o referido trabalho visa a melhor composição para futura adição do diamante.

As microestruturas formadas foram observadas via microscopia ótica. Ensaios de dureza e de resistência à abrasão foram realizados nas amostras, para assim definir as melhores composições para posterior uso em matriz ligante em ferramentas diamantadas.⁽²⁾

A retração e o inchaço foram obtidos via medidas dos comprimentos das amostras, antes e após a sinterização, com paquímetro digital eletrônico Mitutoyo leitura 0,001mm.

Os testes de Dureza Brinell feitos e durômetro PANTEC RBS, usando uma carga de 62,5 Kg em cada amostra (Fe-Cu-Co), os resultados da resistência ao

desgaste permitiram comparar a influencia da adição de cobalto na liga Fe-Cu e a melhor composio da matriz para a ferramenta diamantada. Os testes de desgaste de abrasão foram conduzidos em um simulador físico (Contenco AB800), de abrasão era um granito cinzento, disco de granito foi feito com dimensões: diâmetro externo de 70 cm, diâmetro interno de 40 cm e altura de 5 cm. Este disco foi instalado horizontalmente no simulador físico. O equipamento foi ligado a um computador e usos um software Pavitest Abrasimetro 2.31. O disco do granito foi girado com 20 RPM, e a carga vertical de 2 kgf foi aplicada a processadas sobre o disco do granito. Uma vez que posicionado e carregado de encontro ao disco do granito, a amostra foi mantida fixa longitudinalmente uma linha reta do corte. As amostras foram pesadas antes e após os ensaios de desgaste em uma balança Scaltec, com uma precisão de 0,0001g. A perda do da massa determinado a Eq. (1):

$$\Delta M = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

Equao (1)

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

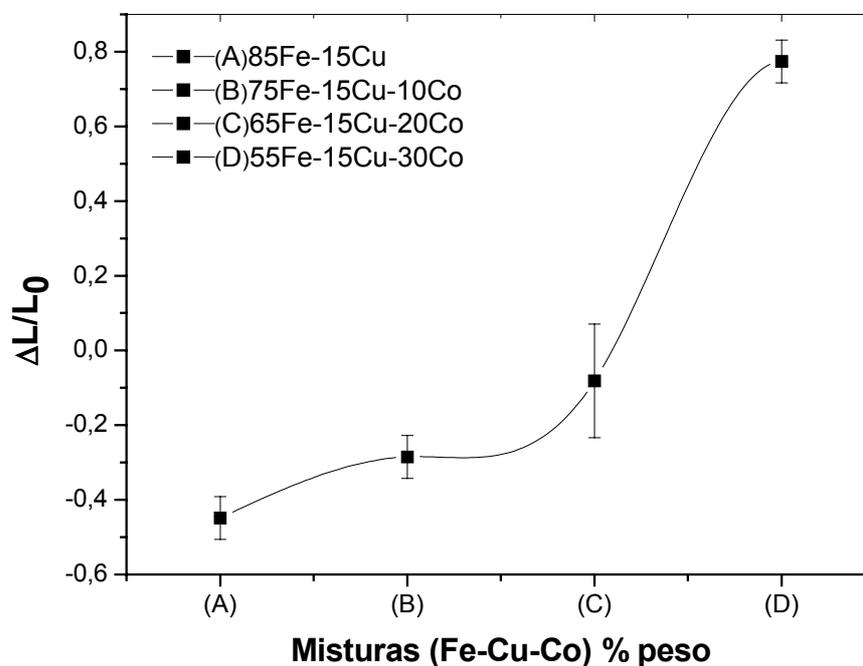


Figura 1. Características de retrao e inchaço para as ligas Fe15%Cu com adio de 0, 10, 20, 30 % peso Co.

O inchaço é um fenômeno normal que ocorre durante a formação da fase líquida de (Cu) na sinterização de Fe-Cu. Portanto o Cu fica líquido durante a sinterização expande seu volume e quando resfria novamente deixa um elevado grau de porosidade, assim diminuindo sua densificação (Figura 1).⁽¹²⁾

O cobre a uma temperatura de 1150°C fica líquido e após resfriar apresenta aspecto de lagos avermelhados distribuídos aleatoriamente fácil de ser distinguido como mostra na Figura 2. A fase sólida dissolve átomos do líquido, por conseqüência a fase sólida se expande, onde anteriormente tinha líquido com a sinterização agora temos espaços vazios distribuídos de uma forma aleatória em toda a liga, estes vazios ficam evidentes em toda a amostra.

Examinando com atenção a Figura 2 B fica evidente uma maior quantidade de vazios, (poros) produzidos com a adição de 10% em peso Co, ocasionado pela ligação Fe-Co onde partículas de Co se espalham nas partículas de Fe produzindo uma solução sólida, o aumento da porosidade em comparação com as demais figuras fica a cargo de uma maior solubilidade do cobre da ligação Fe-Co, nesta proporção e desta forma uma maior quantidade de cobre preenche os contornos de grão, assim o cobre líquido que apresenta grande solubilidade com a pouca fase sólida Fe-10%Co sofre uma expansão, desta forma aumenta o volume do sólido, que ao se esfriar deixa uma maior quantidade de espaços vazios.

A liga Fe-Cu sem a adição do cobalto promove uma quantidade de poros evidente em outros estudos, onde teores maiores que 10% em peso de Cu, esta ação pode ser entendida como a capacidade que a fase líquida tem de ser absorvida pela fase sólida, desta forma a liga Fe-Cu tem uma maior expansão da fase sólida se comparado com Fe-Cu-Co gerando uma porosidade característica do inchaço.⁽⁷⁾

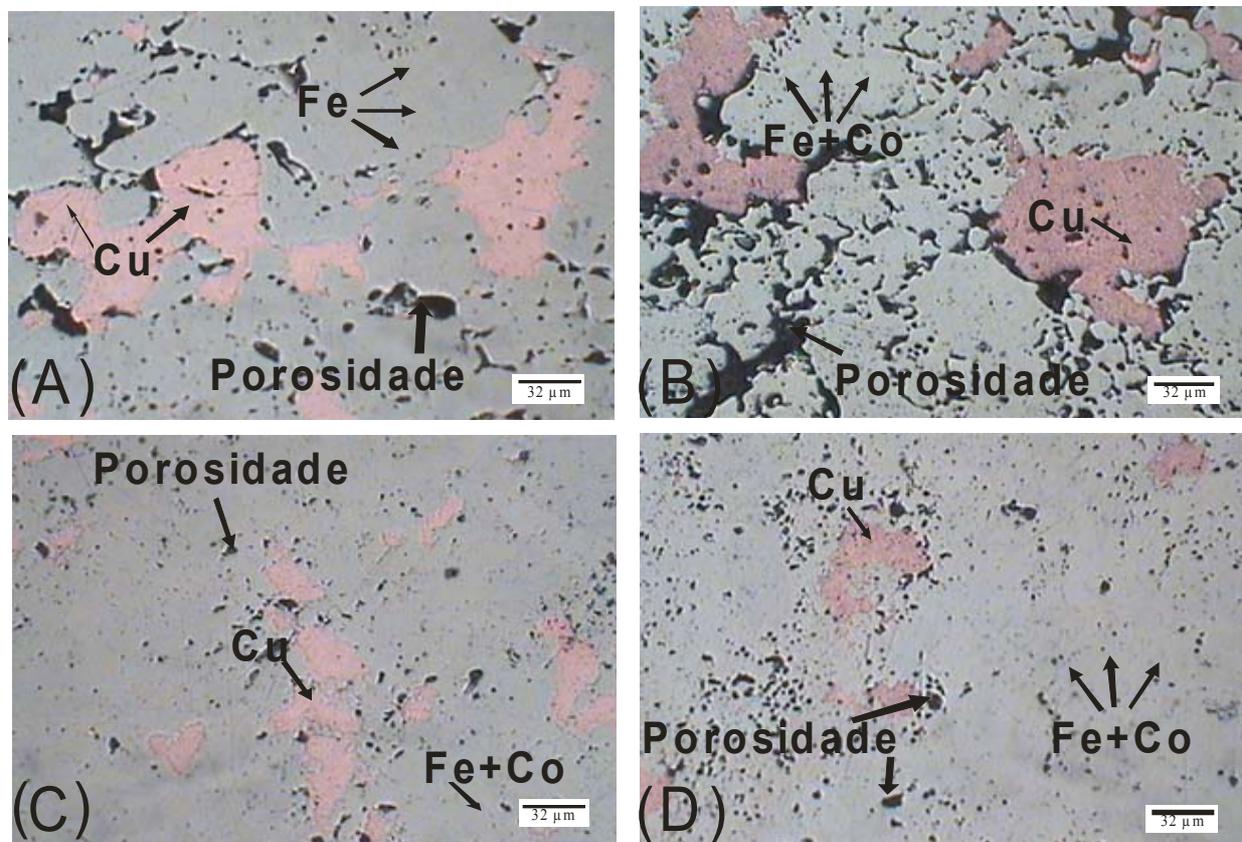


Figura 2. Microestrutura sinterizada de Fe-Cu-Co, (A) Fe-15%Cu, (B) Fe-15%Cu-10%Co, (C) Fe-15%Cu-20%Co, (D) Fe-15%Cu-30%Co.

As Figuras 2 C e D com maiores valores de cobalto apresentam uma porosidade menor e esférica provando a eficiência da sinterização, estes resultados sugerem uma maior densificação das amostras acima de 20% peso cobalto, que diminui a dilatação promovida pelo cobre líquido, a formação da fase sólida Fe-Co oferece maior resistência a expansão do cobre líquido. Observamos também que o cobre na Figura 2 D, fica distribuído em pequenas quantidades em maiores regiões por toda figura, quanto maior a molhabilidade da fase líquida sobre o sólido maior será a densificação que o líquido promove na estrutura, e maior será o aumento da resistência mecânica ⁽³⁾.

De uma forma geral, a Figura 2 mostra aspectos que evidenciam uma melhor densificação com o aumento da quantidade de cobalto. Desta forma observamos pequenos arredondamentos distribuídos homogeneamente nas micrografias. Onde se observa a influência da molhabilidade causada pela fase líquida do cobre nos contornos de grão do ferro como mostrado na Figura 2A, e do Ferro+Cobalto como mostrado na Figura 2 (B,C,D), o que proporciona um aumento gradativo das regiões de contato, facilitando a difusão e gerando a porosidade característica do inchaço nas regiões onde originalmente havia cobre sólido (como afirmado por Oliveira et al.).⁽⁸⁾

O inchaço da liga Fe-Cu é decorrente da fase líquida formada pelo cobre no início do processo de sinterização, onde parte do cobre líquido é consumido pela difusão e, outra penetra progressivamente nos contornos de grão do ferro, gerando esse grau de porosidade remanescente Figura 2A, a qual também contribui fortemente para um menor nível de densificação.^(1,2,8,9)

É interessante ressaltar que à medida que adicionamos Cobalto a liga de Fe-Cu ocorre uma ligação do Fe-Co formando uma solução sólida que diminui a ocorrência do inchaço, e isso produz uma diminuição da área de superfície nos contornos interpartículas, e conseqüentemente sugere menor molhabilidade do cobre líquido, o que pode gerar um volume menor de porosidade, ocasionando um menor nível de inchaço como observado na Figura 2. De acordo com a gama de aplicações das ferramentas de corte diamantadas comerciais existentes como NEXT produzidas por Del Villar et al.,⁽³⁾ fica claro se comparado aos resultados com os pesquisados, neste trabalho a variação da estrutura cristalina e uma formação sólida entre os elementos ferro α -Fe (CCC) e cobalto α -Co (CCC) para (10, 20 e 30)% peso cobalto com adição de 15% Cobre (CFC), estas estruturas são atrativas pois combinam boa sinterabilidade com adequados valores de dureza e resistência ao desgaste, características necessárias quando das operações de corte, especialmente de rochas ornamentais, como mármore e granito.^(3,4,6,7)

Tabela 1. Dureza Brinell (HB).

Composições % (Peso)		Dureza Brinell
A	Fe-15% Cu	40 ± 2
B	Fe-15% Cu-10%Co	44 ± 2
C	Fe-15% Cu-20%Co	52 ± 2
D	Fe-15% Cu-30%Co	57 ± 1

Composições (Fe-Cu-Co)%peso.

A Tabela 1 mostra o efeito do cobalto sobre a dureza da liga. Notamos que a medida que aumentamos o cobalto existe uma relação com o aumento da dureza nas composições. Este aumento é atribuído à formação de solução sólida de Fe-Co, que ocorre de acordo com o diagrama de fases.⁽³⁾ A porosidade que é distribuída em todo material é responsável pela baixa dureza das amostras como discutido antes, e o resultado, é semelhante a resultados obtidos em trabalhos anteriores.^(6,9,10)

Apesar da alta porosidade da amostra B, ela apresentou uma maior dureza, quando comparado com amostras A, devido à adição de 10% peso Co formando novamente uma solução sólida de Fe-Co, superando a presença de porosidade. A adição de 30% Co promoveu um aumento da dureza na ordem dos 40%, quando comparado com amostras sem Co⁽³⁾.

Antes da formação da fase líquida com o aumento da temperatura a estrutura era constituída pela fração sólida, incluindo-se aí a massa do cobre que se transformara em líquido, e por um espaço vazio, que é a porosidade do compactado. A fase líquida ocupava então espaços que antes era ocupado pela fração sólida dando origem a um pouco de porosidade, devido à expansão mencionada. Vê-se por tanto que a formação do líquido não é em si responsável pela densificação da estrutura. No entanto, a formação do líquido já é responsável pelo aumento da resistência mecânica⁽⁹⁾.

É o comportamento da fase líquida que vai determinar se ocorrerá densificação (ou mesmo expansão da estrutura) e qual a intensidade do aumento da resistência mecânica. O aumento da dureza e o menor desgaste por abrasão ocorrem porque a fase líquida adere às partículas sólidas e quando se solidifica, tense uma fase que cimenta as partículas que permanecem sólidas. A sinterização é um processo que contribui para diminuição da energia do sistema diante disso podemos notar que a formação da solução sólida por se tratar de uma maior afinidade químico-física entre o ferro e o cobalto é um processo dominante quando a mistura dos pós é aquecida a 1150°C^(10,11).

Tabela 2. Perda de massa, indicativo de desgaste por abrasão.

Composições % (peso)		Perda de massa, (%)
A	Fe-15%Cu	15,5 ± 0.3
B	Fe-15%Cu-10%Co	24,3 ± 0.5
C	Fe-15%Cu-20%Co	8,8 ± 0.3
D	Fe-15%Cu-30%Co	1 ± 0.2

Fica evidente nesta Tabela 2 que quanto maior a quantidade de cobalto menor e a perda de massa, o que significa uma maior resistência ao desgaste. Amostra (A) apresentou resultados iguais aos da literatura.^(7,9) Interessante notar que a perda de massa da amostra B é 30% superior ao que de amostras A - é explicado pelo fato de que a amostra B revelou uma quantidade maior de porosidade do que amostras A - como visto e discutido anteriormente, na microestrutura. Já a amostra D mostrou um desgaste e uma resistência cerca 15,5 vezes superior em relação às amostras (A), indicando, assim, o forte potencial de utilização de pequenos acréscimos de Co (até 30% em peso), em ligas Fe-Cu, visando a melhoria das propriedades mecânicas. Desta forma a adição de cobalto na matriz modifica suas propriedades mecânicas sendo a dureza e resistência ao desgaste as de grande importância na fabricação de ferramenta diamantada como afirmado por Filgueira.^(2,11)

Os ensaios de resistência a brasão deste estudo foram executados em condições mais severas que quando da operação real de corte, como por exemplo, nas lavras de rochas ornamentais. A maior perda de massa para ferramentas diamantadas pode ser atribuída ao fato de que, no início da operação de corte (abrasão), aos impactos gerados pelas irregularidades da superfície da pedra (granito) danificam mais a matriz. Em operações reais de corte, este fato não é verdadeiro, onde normalmente se verifica uma resistência à abrasão superior para as ferramentas diamantadas de corte, pois aí o mecanismo dominante na resistência à abrasão é a capacidade de corte do diamante, ou seja, proteção da matriz ligante

pelo diamante (faces de corte expostas), o que diminui a taxa de perda de ligante e aumenta a resistência à abrasão. Desta forma, é novamente importante ressaltar que, dentre as composições estudadas, se verificou os melhores resultados com o teor de 30% em peso de cobalto.^(1,2,11)

4 CONCLUSÃO

Este trabalho mostra que a adição de cobalto em ligas de Fe-Cu afeta marcadamente a dureza e a resistência ao desgaste (Propriedades de grande importância), assim, desta forma se torna justificável a utilização de Fe-Cu-Co em ferramentas diamantadas. Verificou-se que as boas propriedades foram obtidos quando 30%Co é adicionado. De uma forma geral, a partir da apresentação dos resultados, as seguintes conclusões podem ser tiradas:

1. Co constitui uma solução sólida com Fe durante a sinterização, permitindo-se uma microestrutura mais densa, compensando, e superando os efeitos deletérios do inchaço promovido pelo Cu;
2. Teores de cobalto mais elevados, promovem maiores valores de dureza para liga Fe-Cu-Co;
3. A adição de 30% em peso de cobalto promove um aumento na dureza de até 40% devido a formação da solução sólida de Fe-Co na matriz;
4. A resistência ao desgaste das amostras com 30% Co, foi de cerca de 15,5 vezes superior ao que de Fe-Cu.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, CAPES e FAPERJ pelo auxílio financeiro concedido.

REFERÊNCIAS

- 1 Filgueira, M. Produção de fios diamantados "in situ". Tese de Doutorado. PPGECEM/UENF. 2000. 154p.
- 2 Filgueira, M. and Pinatti, D. G. Processing of Diamond Composites by Powder Metallurgy and Rotary Forging. Journal of Materials Science Forum. 416-418 (2003) 228-234
- 3 Del Villar, M. et al Consolidation of diamond tools using Cu-Co-Fe based alloys as metallic binders. Powder Metallurgy. 1 44 (2001) 82-90.
- 4 Clark, I.E. Cobalite HDR – a new prealloyed matrix powder for diamond construction tools. Industrial Diamond Review. 3 (2002) 177-182.
- 5 German, R.M. Powder metallurgy science, MPIF, 2.ed.,1997, pp.171-172
- 6 Weber, G. and Weiss, C. Diamix – A Family of Bonds Based on Diabase – V21. Industrial Diamond Review. 2 (2005) 28-32.
- 7 Oliveira et al. Use of PM Fe-Cu-SiC composites as bonding matrix for diamond tools. Powder metallurgy. 50 (2007) 148-152
- 8 Oliveira, L.; Bobrovitchii, G.S. and Filgueira. M. Processing and Characterization of Impregnated Diamond Cutting Tools Using a Ferrous Metal Matrix. Int.J. Refract. Met. Hard Mater. 25 (2007) 328-335
- 9 Oliveira. L.J. Processamento e caracterização do sistema Fe-Cu-Diamante para uso em pérolas de fios diamantados. Dissertação de Mestrado. PPGECEM/UENF. 2005. 137p. (in Portuguese).

- 10 Przyklenk, K. Diamond Impregnated Tools – Uses and Production. Toolmaking. IDR. 4 (1993) 192-195.
- 11 Filgueira, M. and Pinatti, D.G. Production of diamond wire by Cu-15%vol.Nb in situ Process. In: Proc. of the 15th Int. Plansee Seminar. Reutte, Austria. Plansee Holding, AG. 1 (2001) 360-374.