



República Federativa do Brasil  
Ministério do Desenvolvimento, Indústria  
e do Comércio Exterior  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

(21) **PI0708890-6 A2**

(22) Data de Depósito: 14/03/2007  
(43) Data da Publicação: 28/06/2011  
(RPI 2112)



(51) *Int.Cl.:*  
C21D 7/06 2006.01  
B24C 1/10 2006.01

(54) Título: **PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE COMPONENTE METÁLICO E MEMBRO ESTRUTURAL**

(30) Prioridade Unionista: 15/03/2006 JP 2006-070794

(73) Titular(es): Mitsubishi Heavy Industries, LTD

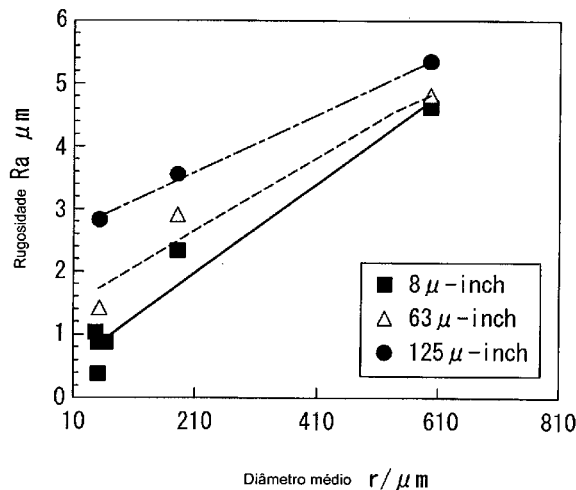
(72) Inventor(es): Akiko Inoue, Kazuyuki Oguri, Takahiro Sekigawa

(74) Procurador(es): Dannemann, Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira

(86) Pedido Internacional: PCT JP2007055141 de 14/03/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2007/105775 de 20/09/2007

(57) **Resumo:** PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE COMPONENTE METÁLICO E MEMBRO ESTRUTURAL. A presente invenção refere-se a um processo para produção de um componente metálico de um membro estrutural ou similar usado em uma aeronave ou em um automóvel ou similar, o processo incluindo o jateamento da superfície do material metálico, em que as propriedades de fadiga do material metálico são melhoradas sem quase nenhuma variação na rugosidade da superfície durante o curso do jateamento. O processo de grenalhagem da superfície do material metálico usa um material de jateamento tendo um tamanho médio de partícula de não mais que 200  $\mu\text{m}$ , e a razão da rugosidade da superfície do material metálico após a etapa de projeção em relação à rugosidade da superfície do material metálico antes da etapa de projeção é de não menos que 0,8 e não mais que 1,5.





Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE COMPONENTE METÁLICO E MEMBRO ESTRUTURAL**".

Campo Técnico

5 A presente invenção refere-se a um processo para a produção de um componente metálico tendo propriedades melhoradas de fadiga e de um membro estrutural.

Antecedentes da Técnica

10 O processo de grenalhagem representa um exemplo conhecido de um processo de modificação de superfície que é usado para aumentar a resistência à fadiga de materiais metálicos tais como membros estruturais usados em aeronaves e automóveis e similares (vide a Citação Não-Patente 1). O processo de grenalhagem é um método no qual, jateando-se incontáveis partículas tendo um tamanho de partícula de cerca de 0,8 mm (granhilha) juntamente com uma corrente de ar comprimido na superfície de um material metálico, a dureza da superfície do material metálico é aumentada, e uma camada tendo estresse compressivo residual é formada a uma certa profundidade.

15 Além disso, outras técnicas tais como martelagem de lingueta e trabalho a frio são também usadas como métodos de aumento da resistência à fadiga de um material metálico.

20 Citação Não-Patente 1: T. Dorr e quatro outros autores, "Influence of Shot Peening on Fatigue Performance of High-Strength Aluminum and Magnesium Alloys", The 7<sup>th</sup> International Conference on Shot Peening, 1999, Institute of Precision Mechanics, Warsaw, Poland. Internet <URL: <http://www.shotpeening.org/ICSP/icsp-7-20.pdf>>

Descrição da Invenção

25 Entretanto, o processo de grenalhagem aumenta a rugosidade da superfície do membro, significando que a rugosidade de superfície prescrita requerida para uma aplicação em particular pode nem sempre ser alcançável. Além disso, devido ao aumento da rugosidade da superfície e ao efeito das falhas geradas na superfície do membro pelo jateamento, uma

redução parcial no grau de melhoria nas propriedades de fadiga alcançadas pelo processo de grenalhagem é inevitável. Um processo que permita que as propriedades de fadiga de um membro sejam aumentadas por processo de grenalhagem enquanto suprime qualquer aumento na rugosidade da superfície do membro ou qualquer geração de falhas ainda tem que ser descoberto.

Por outro lado, martelagem de lingueta não induz a um alto nível de estresse residual compressivo, e como resultado propriedades satisfatórias de fadiga não podem ser obtidas.

Além disso, processos de trabalho a frio requerem processamento posterior, significando que o processo é mais complexo.

Além disso, o processo de grenalhagem pode também provocar deformação plástica da camada de superfície do membro, o que pode provocar problemas de deformação tais como dobramento. Como resultado, esses tipos de problemas foram tipicamente evitados pelo uso de uma máscara adesiva do tipo fita ou película sensível à pressão para cobrir aquelas áreas do material para as quais deformações como o dobramento ou um aumento na rugosidade da superfície são prováveis de serem problemáticas antes do processo de grenalhagem. Entretanto, anexar e então remover uma máscara adesiva sensível à pressão requer um esforço considerável, e resulta em custos extras.

Além disso, quando se faz processo de grenalhagem, se uma partícula golpeia uma borda do membro, então a deformação plástica na borda pode fazer uma parte desprender-se do membro, gerando a assim chamada rebarba. Como esse tipo de rebarba pode provocar uma deterioração nas propriedades de fadiga do membro, as bordas dos componentes metálicos devem ser chanfradas ou arredondadas antes do processo de grenalhagem para evitar a geração de tais rebarbas. Entretanto, a chanfradura ou arredondamento das bordas é tipicamente executado manualmente, significando que a eficiência é insatisfatória.

A presente invenção foi desenvolvida à luz dessas circunstâncias, e tem o objetivo de fornecer um processo para produção de um com-

ponente metálico de um membro estrutural ou similar usado em uma aeronave ou em um automóvel ou similar, o processo compreendendo processo de grenalhagem da superfície de um material metálico, onde as propriedades de fadiga do material metálico podem ser melhoradas sem quase nenhuma variação na rugosidade da superfície durante o curso do processo de grenalhagem.

Além disso, a presente invenção também tem o objetivo de fornecer um processo para produção de um componente metálico de um membro estrutural ou similar usado em uma aeronave ou automóvel ou similar, o processo compreendendo a aplicação de processo de grenalhagem à superfície de um material metálico, onde pela redução da deformação do material metálico e pela supressão do aumento da rugosidade da superfície, o revestimento da superfície do material metálico torna-se desnecessário, e o componente metálico pode ser produzido a um custo reduzido.

Além disso, a presente invenção tem também o objetivo de fornecer um processo para produção de um componente metálico de um membro estrutural ou similar usado em uma aeronave ou em um automóvel ou similar, o processo compreendendo a aplicação de processo de grenalhagem à superfície do material metálico, onde a chanfradura ou o arredondamento das bordas antes da aplicação do processo de grenalhagem sejam desnecessários, permitindo reduções no número de etapas do processo e dos custos de produção.

Para se alcançar os objetivos descritos acima, a presente invenção adota os aspectos descritos abaixo.

A saber, um processo para produção de um componente metálico conforme a presente invenção compreende uma etapa de projeção (etapa de processo de grenalhagem) de projetar partículas sobre a superfície de um material metálico compreendendo uma liga de peso leve ou um aço, onde o tamanho médio de partícula é de não mais que 200  $\mu\text{m}$ , e a razão da média aritmética da rugosidade da superfície do material metálico após a etapa de projeção em relação à média aritmética da rugosidade da superfície do material metálico antes da etapa de projeção é de não menos que 0,8 e de não

mais que 1,5.

De acordo com esse processo, um componente metálico tendo propriedades melhoradas de fadiga pode ser produzido com pequenas mudanças na rugosidade da superfície do material metálico.

5 Na descrição a seguir, a rugosidade da superfície representada pela média aritmética da rugosidade Ra é referida simplesmente como "rugosidade da superfície". Além disso, na presente invenção, o "tamanho médio de partícula" é determinado como o tamanho de partícula correspondente ao pico em uma curva de distribuição de frequência, e é também referido  
10 como o tamanho de partícula mais freqüente ou o diâmetro modal. Alternativamente, o tamanho médio de partícula pode ser também determinado usando-se os métodos listados abaixo.

(1) Um método no qual o tamanho médio de partícula é determinado a partir de uma curva de peneiramento (o tamanho de partícula  
15 correspondente com  $R = 50\%$  é considerado o diâmetro médio ou o tamanho de partícula 50%, e é representado usando-se o símbolo  $d_{p50}$ ).

(2) Um método no qual o tamanho médio de partícula é determinado a partir de uma distribuição Rosin-Rammler.

(3) Outros métodos (tais como determinação do número do  
20 tamanho médio de partícula, comprimento médio do tamanho de partícula, área média do tamanho de partícula, volume médio do tamanho de partícula, área de superfície média do tamanho de partícula, média do volume do tamanho de partícula).

A rugosidade da superfície do material metálico antes da etapa  
25 de projeção é preferivelmente de não menos que  $0,7 \mu\text{m}$  e não mais que  $65 \mu\text{m}$ .

Se a rugosidade de superfície do material metálico antes da etapa de projeção for menor que  $0,7 \mu\text{m}$ , então a razão da rugosidade de superfície da superfície do material metálico após a etapa de projeção em relação à rugosidade de superfície antes da etapa de projeção tende a aumentar, e o efeito da presente invenção em melhorar as propriedades de fadiga  
30 tende a diminuir, o que é indesejável.

Para garantir que o componente metálico produzido tem resistência à fadiga satisfatória, o valor absoluto do estresse residual compressivo na superfície do material metálico após a etapa de projeção é preferivelmente de não menos que 150 MPa.

5 No processo para produção de um componente metálico conforme a presente invenção, a projeção das partículas na superfície do material metálico pode ser executada sem usar-se o tipo de máscara que é anexada à superfície do material metálico durante o tratamento convencional por processo de grenalhagem para evitar aumentos na rugosidade de superfície  
10 ou deformação do material metálico.

De acordo com o processo para produção de um componente metálico da presente invenção, em adição ao fato de que a rugosidade da superfície do material metálico não sofre quase nenhuma mudança por todo o curso da etapa de projeção, quase nenhuma deformação tal como dobra-  
15 mento ocorre no material metálico, significando que o tipo de máscara adesiva sensível à pressão usada nos tratamentos convencionais por processo de grenalhagem é desnecessário, e, como resultado, as etapas de anexar e remover a máscara adesiva sensível à pressão são também desnecessárias, permitindo uma redução drástica no número de etapas de processo e dos  
20 custos de produção para os componentes metálicos.

Além disso, no processo para produção de um componente metálico conforme a presente invenção, nem a chanfradura nem o arredonda-  
mento das bordas do material metálico que são conduzidos antes da etapa de projeção nos tratamentos convencionais por processo de grenalhagem  
25 para evitar a ocorrência de rebarbas, precisam ser executados.

De acordo com o processo para produção de um componente metálico da presente invenção, uma vez que não são produzidas rebarbas por deformação plástica mesmo se um material de jateamento atingir uma  
borda do material metálico, a chanfradura ou o arredondamento das bordas  
30 antes da etapa de projeção são desnecessários. Conseqüentemente, o número etapas de processo e os custos de produção para o componente metálico podem ser drasticamente reduzidos.

Além disso, um membro estrutural da presente invenção inclui um componente metálico produzido usando-se um dos processos de produção descritos acima.

5           Esse membro estrutural tem excelentes propriedades de fadiga, e não tem deformações tais como dobramento e nem rugosidade de superfície excessiva. Além disso, porque a produção pode ser executada sem a necessidade de cobrir com uma máscara adesiva sensível à pressão e sem chanfradura ou arredondamento das bordas, o membro estrutural pode ser produzido a um custo reduzido. Esse membro estrutural pode ser usado favoravelmente no campo de equipamentos de transporte tais como aeronaves e automóveis, e em outros campos que requeiram propriedades favoráveis de fadiga do material.

15           A presente invenção fornece um processo para produção de um componente metálico de um membro estrutural ou similar usado em uma aeronave ou automóvel ou similar, o processo compreendendo aplicação de processo de grenalhagem à superfície de um material metálico, onde as propriedades de fadiga do material metálico podem ser melhoradas sem quase nenhuma variação na rugosidade de superfície por todo o curso do processo de grenalhagem.

20           Além disso, a presente invenção também fornece um processo para produção de um componente metálico de um membro estrutural ou similar usado em uma aeronave ou em um automóvel ou similar, o processo compreendendo a aplicação de processo de grenalhagem à superfície de um material metálico, onde pela redução da deformação do material metálico e pela supressão do aumento na rugosidade da superfície, a cobertura da superfície do material metálico torna-se desnecessária, e o componente metálico pode ser produzido a um custo reduzido.

25           Além disso, a presente invenção também fornece um processo para produção de um componente metálico de um membro estrutural ou similar usado em uma aeronave ou em um automóvel ou similar, o processo compreendendo a aplicação de processo de grenalhagem à superfície do material metálico, onde a chanfradura ou o arredondamento das bordas an-

tes do processo de grenalhagem é desnecessário, permitindo reduções no número de etapas do processo e dos custos de produção.

#### Breve Descrição dos Desenhos

5 [FIGURA 1] Um diagrama mostrando os perfis de superfície de uma liga de alumínio com uma rugosidade de superfície de  $1,2 \mu\text{m}$  antes e após o processo de grenalhagem, onde (a) representa o perfil da superfície antes do processo de grenalhagem, (b) representa o perfil da superfície após o processo de grenalhagem no Exemplo 1, e (c) representa o perfil da superfície após o processo de grenalhagem no Exemplo Comparativo 3.

10 [FIGURA 2] Um diagrama mostrando os perfis de superfície de uma liga de alumínio com uma rugosidade de superfície de  $2,9 \mu\text{m}$  antes e após o processo de grenalhagem, onde (a) representa o perfil da superfície antes do processo de grenalhagem, (b) representa o perfil da superfície após o processo de grenalhagem no Exemplo 2, e (c) representa o perfil da superfície após o processo de grenalhagem no Exemplo Comparativo 4.

15 [FIGURA 3] Um diagrama mostrando os perfis de superfície de uma liga de titânio com uma rugosidade de superfície de  $1,64 \mu\text{m}$  antes e após o processo de grenalhagem, onde (a) representa o perfil da superfície antes do processo de grenalhagem, e (b) representa o perfil da superfície após o processo de grenalhagem no Exemplo 3.

20 [FIGURA 4] Um diagrama mostrando os perfis de superfície de uma liga de titânio com uma rugosidade de superfície de  $3,2 \mu\text{m}$  antes e após o processo de grenalhagem, onde (a) representa o perfil da superfície do processo de grenalhagem, e (b) representa o perfil da superfície após o processo de grenalhagem no Exemplo 4.

25 [FIGURA 5] Um gráfico mostrando a relação entre o tamanho médio de partícula do material jateado e a rugosidade de superfície.

[FIGURA 6] Uma fotografia de microscópio eletrônico da superfície da fratura de fadiga de um espécime do Exemplo 5.

30 [FIGURA 7] Uma fotografia de microscópio eletrônico da superfície da fratura de fadiga de um espécime do Exemplo Comparativo 5.

Melhor Forma de Execução da Invenção

Uma descrição de configurações do processo para produção de um componente metálico conforme a presente invenção está apresentada abaixo, em relação aos desenhos.

5 No processo para produção de um componente metálico conforme a presente invenção, é usado um material de liga leve ou um material de aço. Exemplos das ligas leves incluem ligas de alumínio e titânio.

10 No processo para produção de um componente metálico conforme a presente invenção, as partículas ( material de jateamento) usadas no processo de grenalhagem do material metálico são partículas duras de um metal, cerâmica ou vidro ou similares, e são preferivelmente partículas de cerâmica tais como partículas de alumina ou de sílica.

15 Em tratamentos convencionais por processo de grenalhagem, é usado um material jateado com um tamanho de partícula de cerca de 0,8 mm, mas na presente invenção é usado um material de jateamento com um tamanho médio de partícula de não mais que 200  $\mu\text{m}$ . O tamanho médio de partícula do material jateado é preferivelmente de não menos que 10  $\mu\text{m}$  e de não mais que 200  $\mu\text{m}$ , e é ainda mais preferivelmente de não menos que 30  $\mu\text{m}$  e de não mais que 100  $\mu\text{m}$ . Se o tamanho médio de partícula do material jateado for maior que 200  $\mu\text{m}$ , então a energia cinética excessivamente grande das partículas provoca danos à superfície o material, significando que uma melhoria satisfatória na vida de fadiga não pode ser alcançada. Além disso, se o tamanho médio de partícula do material jateado for menor que 10  $\mu\text{m}$ , então entupimentos e similares do material de jateamento significa que um estado de pulverização estável é muito difícil.

25 A velocidade do material de jateamento é regulada pela pressão do ar da corrente de ar comprimido. Quando se aplica o processo de grenalhagem conforme a presente invenção, a pressão do ar é preferivelmente de não menos que 0,1 MPa e de não mais que 1 Mpa, e é ainda mais preferivelmente de não menos que 0,3 Mpa e de não mais que 0,6 MPa. Se a pressão do ar for maior que 1 MPa, então a energia cinética excessivamente grande das partículas provoca danos à superfície do material, significando que uma melhoria satisfatória na vida de fadiga não pode ser alcançada.

30

Além disso, se a pressão do ar for menor que 0,1 MPa, então alcançar-se um estado estável de pulverização torna-se muito difícil.

As partículas do material de jateamento tem preferencialmente a forma esférica. A razão para esta preferência é que se as partículas do material de jateamento forem afiadas, então a superfície do componente metálico pode tornar-se danificada.

A cobertura por processo de grenalhagem é preferivelmente não menos que 100% e não mais que 1.000%, e é ainda mais preferivelmente não menos que 100% e não mais que 500%. A níveis de cobertura de 100% ou menos, uma melhoria satisfatória na resistência à fadiga não pode ser obtida. Além disso, níveis de cobertura de 1.000% ou mais são também indesejáveis, uma vez que o aumento na temperatura na superfície do material provoca uma redução no estresse residual compressivo na superfície mais externa, e uma melhoria satisfatória na resistência à fadiga não pode ser obtida.

Um componente metálico que tenha sido jateado sob as condições descritas acima exhibe preferivelmente as propriedades de superfície (estresse residual compressivo da superfície e rugosidade de superfície) descritas abaixo.

[Estresse Residual Compressivo da Superfície]

Em um componente metálico que tenha sofrido processo de grenalhagem de acordo com a presente invenção, existe um alto estresse residual compressivo de não menos que 150 MPa ou na superfície mais externa do material, ou dentro da sua vizinhança. Como resultado, a superfície é reforçada e ocorre falha de fadiga não na superfície; mas no interior do material, significando que a vida de fadiga aumenta significativamente.

[Rugosidade de Superfície]

O tratamento por processo de grenalhagem na presente invenção é executado de forma que não haja quase nenhuma mudança na rugosidade da superfície durante o curso do tratamento. A razão da rugosidade da superfície após o processo de grenalhagem em relação à rugosidade da superfície antes do processo de grenalhagem é preferivelmente de não me-

nos que 0,8 e de não mais que 1,5. Se a razão da rugosidade da superfície exceder 1,5 , então a superfície do componente metálico após o processo de grenalhagem tende a ser áspera, o que resulta em danos à superfície e pode provocar uma redução indesejável na vida de fadiga.

5                   Aplicando-se o processo de grenalhagem ao material metálico sob as condições acima, é obtido um componente metálico de superfície tratada da presente invenção.

                  Uma descrição mais detalhada do processo para produção de um componente metálico conforme a presente invenção está apresentado  
10 abaixo usando-se uma série de exemplos e exemplos comparativos.

(Exemplo 1 e Exemplo 2)

                  Uma chapa de um material de liga de alumínio (7050-T7451, dimensões: 19 mm x 76 mm x 2,4 mm) foi usado como espécime de teste. Uma superfície desse espécime foi jateado usando-se um material de jateamento composto de partículas cerâmicas de alumina/sílica com um tamanho  
15 médio de partícula (tamanho de partícula mais freqüente) de não mais que 50 µm, sob condições incluindo uma pressão de ar de 0,4 MPa e um tempo de pulverização de 30 segundos.

                  Dois materiais de liga de alumínio tendo diferentes rugosidades de superfície foram preparados como materiais de jateamento. No exemplo  
20 1, foi usado um material de liga de alumínio com uma rugosidade de superfície de 1,2 µm antes do jateamento, enquanto no Exemplo 2, foi usado um material de liga de alumínio com uma rugosidade de superfície de 2,9 µm antes do jateamento.

25                   Um equipamento de jateamento dinâmico de micropartículas (modelo número: P-SGF-4ATCM-401, produzido pela Fuji Manufacturing Co., Ltd.) foi usado como equipamento de processo de grenalhagem.

                  Após o jateamento, foram medidos a rugosidade da superfície, o estresse residual compressivo, e o grau de formação dos espécimes de teste.  
30 te.

                  As condições para jateamento no Exemplo 1 e no Exemplo 2, os valores de rugosidade de superfície para os espécimes de teste antes e a-

pós o jateamento, e o estresse residual compressivo, a rugosidade da superfície e o grau de deformação dos espécimes de teste após o jateamento estão mostrados na Tabela 1. Além disso, os perfis da superfície antes e após o jateamento no exemplo 1 estão mostrados na FIGURA 1(a) e na FIGURA 1(b) respectivamente, e os perfis da superfície antes e após o jateamento no Exemplo 2 estão mostrados na FIGURA 2(a) e na FIGURA 2(b) respectivamente.

(Exemplo Comparativo 1 e Exemplo Comparativo 2)

Com exceção da substituição do material de jateamento por partículas de zircônia convencional tendo um tamanho médio de partícula (tamanho de partícula mais freqüente) de 250  $\mu\text{m}$ , o jateamento no Exemplo Comparativo 1 e no Exemplo Comparativo 2 foi executado da mesma forma que no Exemplo 1 e no Exemplo 2, respectivamente.

As condições para o jateamento do Exemplo Comparativo 1 e do Exemplo Comparativo 2, os valores de rugosidade de superfície para os espécimes de teste antes e após o jateamento, e o estresse residual compressivo, a rugosidade da superfície, o grau de deformação e a vida de fadiga dos espécimes de teste após o jateamento estão mostrados na tabela 1.

(Exemplo Comparativo 3 e Exemplo Comparativo 4)

Com exceção da substituição do material de jateamento por partículas de aço lingotado convencional tendo um tamanho médio de partícula (tamanho de partícula mais freqüente) de 500 a 800  $\mu\text{m}$ , o jateamento no Exemplo Comparativo 3 e no Exemplo Comparativo 4 foi executado da mesma maneira que no Exemplo 1 e no Exemplo 2, respectivamente.

As condições para jateamento no Exemplo Comparativo 3 e no Exemplo Comparativo 4, os valores da rugosidade da superfície para os espécimes de teste antes e depois do jateamento, e o estresse residual compressivo, rugosidade de superfície, grau de deformação e vida de fadiga dos espécimes de teste após o jateamento estão mostrados na Tabela 1. Além disso, o perfil de superfície antes e após o jateamento no Exemplo Comparativo 3 está mostrado na FIGURA 1(c), e o perfil de superfície antes e após o jateamento no Exemplo Comparativo 4 está mostrado na FIGURA 2(c).

(Exemplo 3 e Exemplo 4)

Com exceção da substituição dos espécimes de teste por uma chapa de material de liga de titânio (Ti-6Al-4V [um material recozido] dimensões: 19 mm x 76 mm x 2,4 mm), o jateamento no Exemplo 3 e no Exemplo 4 foi executado da mesma maneira que no Exemplo 1 e no Exemplo 2, respectivamente.

Dois materiais de liga de titânio tendo diferentes rugosidades de superfície foram preparados como materiais jateados. No Exemplo 3, foi usado um material de liga de titânio com uma rugosidade de superfície de 1,64  $\mu\text{m}$  antes do jateamento, enquanto que no Exemplo 2 foi usado um material de liga de titânio com uma rugosidade de superfície de 3,2  $\mu\text{m}$  antes do jateamento.

As condições de jateamento no Exemplo 3 e no Exemplo 4, os valores de rugosidade de superfície para os espécimes de teste antes e após o jateamento, e o estresse residual compressivo, a rugosidade de superfície, o grau de deformação e a vida de fadiga dos espécimes de teste após o jateamento estão mostrados na Tabela 1. A vida de fadiga foi avaliada executando-se um teste de tensão-tensão de fadiga (razão de estresse  $R = 0,1$ , estresse máximo: 345 MPa) em um espécime de teste em forma de barra redonda lisa tendo um comprimento de 13 mm e um diâmetro de bitola de 6,35 mm. Além disso, os perfis de superfície antes e após o jateamento no Exemplo 3 estão mostrados na FIGURA 3(a) e na Figura 3(b) respectivamente, e os perfis de superfície antes e após o jateamento no Exemplo 2 estão mostrados na Figura 4(a) e na Figura 4(b) respectivamente.

[Tabela 1]

	Substrato	Material de jateamento (tamanho de partícula) (força de jateamento)	Pressão do ar Pa	Tempo de jateamentos	Coverage %
Exemplo 1	Al liga	Alumina/silica (< 53 µm) (0,004 N)	0,4	30	100
Exemplo 2	Al liga		0,4	30	100
Exemplo comparativo 1	Al liga	Zirconia (250 µm) (0,01 N)	0,2	30	100
Exemplo comparativo 2	Al liga		0,2	30	100
Exemplo comparativo 3	Al liga	Ferro ligado (500 a 800 µm) (0,006 N)			100
Exemplo comparativo 4	Al liga				100
Exemplo 3	Ti liga	Alumina/silica (< 53 µm) (0,004 N)	0,4	30	100
Exemplo 4	Ti liga		0,4	30	100

	Rugosidade antes do jateamento Ra µm	Rugosidade após o jateamento Ra µm	Estresse residual MPa	Grau de deformação µm	Vida de fadiga
Exemplo 1	1,2	1,4	-196	15	2,049,369
Exemplo 2	2,9	2,8	-204	17	1,987,585
Exemplo comparativo 1	1,2	2,9	-159	30	989,387
Exemplo comparativo 2	2,9	3,5	-187	38	1,122,127
Exemplo comparativo 3	1,2	4,8	-138	117	141,929
Exemplo comparativo 4	2,9	5,3	-169	109	12,319
Exemplo 3	1,64	1,69		9,5	298,808
Exemplo 4	3,2	2,89		7	337,802

Dos resultados mostrados na Tabela 1 e na FIGURA 1 à FIGURA 4 é evidente que comparado com o tratamento por processo de grenagem no Exemplo Comparativo 1 ao Exemplo Comparativo 4 que usaram materiais de jateamento convencionais, tratamentos por processo de grenagem no Exemplo 1 ao Exemplo 4 que usaram um material de jateamento

com micropartículas renderam uma menor variação na rugosidade da superfície por todo o curso do jateamento. Imagina-se que, como resultado, o processo de grenalhagem no Exemplo 1 ao Exemplo 4 resulta em menos danos à superfície do material. Além disso, no jateamento do Exemplo 1 e do Exemplo 2, um estresse residual compressivo maior foi confirmado no material após o jateamento do que o observado após o jateamento no Exemplo Comparativo 1 ao Exemplo Comparativo 4. Conseqüentemente, o jateamento no exemplo 1 ao Exemplo 4 permite que sejam obtidos membros de liga que tenham excelentes propriedades de fadiga.

Além disso, comparado com os tratamentos por processo de grenalhagem no Exemplo Comparativo 3 e no Exemplo Comparativo 4, os tratamentos por processo de grenalhagem no Exemplo 1 ao Exemplo 4 resultam em um menor grau de deformação no espécime de teste. Conseqüentemente, o processo de grenalhagem no exemplo 1 ao Exemplo 4 remove a necessidade de cobertura dessas regiões para as quais o aumento no dobramento ou na rugosidade de superfície provaram ser problemáticos, significando que as etapas de anexação e remoção de uma máscara são também desnecessárias, e como resultado não se incorre em custos extras no jateamento.

(Exemplo de Referência)

A relação entre o tamanho médio de partícula (diâmetro médio) (tamanho de partícula mais freqüente) do material de jateamento e a rugosidade de superfície quando as superfícies dos materiais de liga de alumínio (7050-T7451) tendo valores nominais de rugosidade de superfície de 8 0,2  $\mu\text{m}$  (micropolegadas), 1,6  $\mu\text{m}$  (63 micropolegadas) e 3,2  $\mu\text{m}$  (125 micropolegadas) foram jateados está mostrada na FIGURA 5. Conforme mostrado na FIGURA 5, fica claro que existe uma relação linear entre o tamanho médio de partícula e a rugosidade da superfície, com a rugosidade de superfície aumentando com o aumento do tamanho médio de partícula. Além disso, é observada uma tendência onde valores menores de rugosidade de superfície inicial rendem uma maior variação na rugosidade de superfície nas mudanças de tamanho médio de partícula, e quando o tamanho médio de partí-

5 cula se aproxima do tamanho médio de partícula (cerca de 0,8 mm) dos materiais de jateamento usados nos tratamentos típicos por processo de grenalhagem, o efeito da rugosidade inicial de superfície é quase inexistente, com a rugosidade de superfície após o jateamento sendo substancialmente igual para todos os materiais de liga de alumínio especificados.

(Exemplo 5)

10 A área em torno do furo dentro de um espécime de teste composto de uma chapa plana de uma liga de titânio (T1-6Al-4V [um material recozido]) com um furo nela formado foi jateada da mesma maneira que no Exemplo 3. Nenhum processamento tal como chanfradura ou arredonda-  
15 mento das bordas do furo foi executado antes do jateamento. Após o teste de fadiga, a superfície da fratura de fadiga foi inspecionada usando-se um microscópio eletrônico. A FIGURA 6 é uma fotografia feita no microscópio eletrônico da superfície da fratura de fadiga do espécime do Exemplo 5. Na figura, a seta indica a origem da fratura de fadiga.

Da fotografia do microscópio eletrônico da FIGURA 6 é evidente que a origem da fratura de fadiga está em várias dezenas de  $\mu\text{m}$  dentro da superfície interna do furo dentro do espécime do Exemplo 5.

20 Os resultados da execução de um teste de fadiga (um teste de tensão-tensão de fadiga, razão de estresse  $R = 0,1$ ) usando a chapa plana contendo um furo mencionado acima estão mostrados na Tabela 2. Fica claro que apesar do fato de que nenhum processamento tal como uma chanfradura ou arredondamento das bordas do furo foi executado, usando um jateamento de micropartículas foi permitida uma melhoria drástica na vida de  
25 fadiga além do resultado alcançável usando-se um material de jateamento típico em um espécime de teste que tenha sido submetido ao processamento tal como chanfradura ou arredondamento das bordas do furo (vide exemplo Comparativo 5 abaixo).

[Tabela 2]

Material/teste de estresse (MPa)	Furo perfurado	Tratamento de jateamento típico	Tratamento de jateamento típico	Melhoria da vida de fadiga (jateamento de micropartículas/perfuração)
SNCM439 aço temperado/620	83,703	79,194	10,100,748 (sem fraturas)	120- dobras ou mais
Ti-6Al-4V material recozido/540	38,516	58,850	464,451	12-dobras
A7075-T73/200	81,001	88,489	1,005,819	12-dobras

(Exemplo Comparativo 5)

As bordas do furo em um espécime de teste composto de uma chapa de uma liga de titânio (Ti-6Al-4V) (material recozido) contendo um furo foram chanfradas, e a área em torno do furo foi então jateada da mesma forma que no Exemplo Comparativo 3 e no Exemplo Comparativo 4. Após um teste de fadiga, a superfície da fratura de fadiga foi inspecionada usando-se um microscópio eletrônico. A FIGURA 7 é uma fotografia feita em um microscópio eletrônico da superfície da fratura de fadiga do espécime do exemplo Comparativo 5. Na figura a seta indica a origem da fratura de fadiga.

Da fotografia feita no microscópio eletrônico da FIGURA 7 é evidente que a origem da fratura de fadiga ocorre na porção chanfrada da borda do furo no exemplo Comparativo 5.

A comparação do Exemplo 5 e do Exemplo Comparativo 5 revela que o jateamento com micropartículas, mesmo quando nenhuma chanfradura de borda tenha sido feita, as bordas não agem como origem de fratura de fadiga. Resultados similares foram observados para espécimes de teste de liga de alumínio e de aço. Com base nesses resultados, pode ser declarado que o processo de grenalhagem conforme a presente invenção não apenas permite a prevenção de rebarbas provocadas pela deformação plástica das bordas, mas também reforça toda a superfície incluindo as bordas, e melhora as propriedades de fadiga.

Além disso, tirando-se vantagem do fato de que o processo de grenalhagem conforme a presente invenção produz um grau mínimo de de-

formação plástica, o processo de grenalhagem pode também ser executado em porções de furos de precisão, que até agora foram incapazes de serem jateados e, portanto, requereram revestimento.

## REIVINDICAÇÕES

1. Processo para produção de um componente metálico, compreendendo uma etapa de projeção de partículas na superfície de um material metálico compreendendo uma liga leve ou um aço, em que  
5 o tamanho médio de partícula é de não mais que 200  $\mu\text{m}$ , e a razão da média aritmética da rugosidade da superfície do material metálico após a etapa de projeção em relação à média aritmética da rugosidade da superfície do material metálico antes da etapa de projeção é de não menos que 0,8 e não mais que 1,5.
- 10 2. Processo para produção de um componente metálico de acordo com a reivindicação 1, em que a média aritmética da rugosidade da superfície do material metálico antes da etapa de projeção é de não menos que 0,7  $\mu\text{m}$  e não mais que 65  $\mu\text{m}$ .
- 15 3. Processo para produção de um componente metálico de acordo com a reivindicação 1 ou 2, em que o valor absoluto do estresse residual compressivo na superfície do material metálico após a etapa de projeção é de não menos que 150 MPa.
- 20 4. Processo para produção de um componente metálico de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, em que a projeção das partículas na superfície do material metálico é executada sem o uso de uma máscara para cobrir a superfície do material metálico.
- 25 5. Processo para produção de um componente metálico de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, em que nem chanfradura nem arredondamento de bordas do material metálico são executados antes da etapa de projeção.
6. Membro estrutural tendo um componente metálico produzido usando-se o processo como definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 5.

FIG. 1

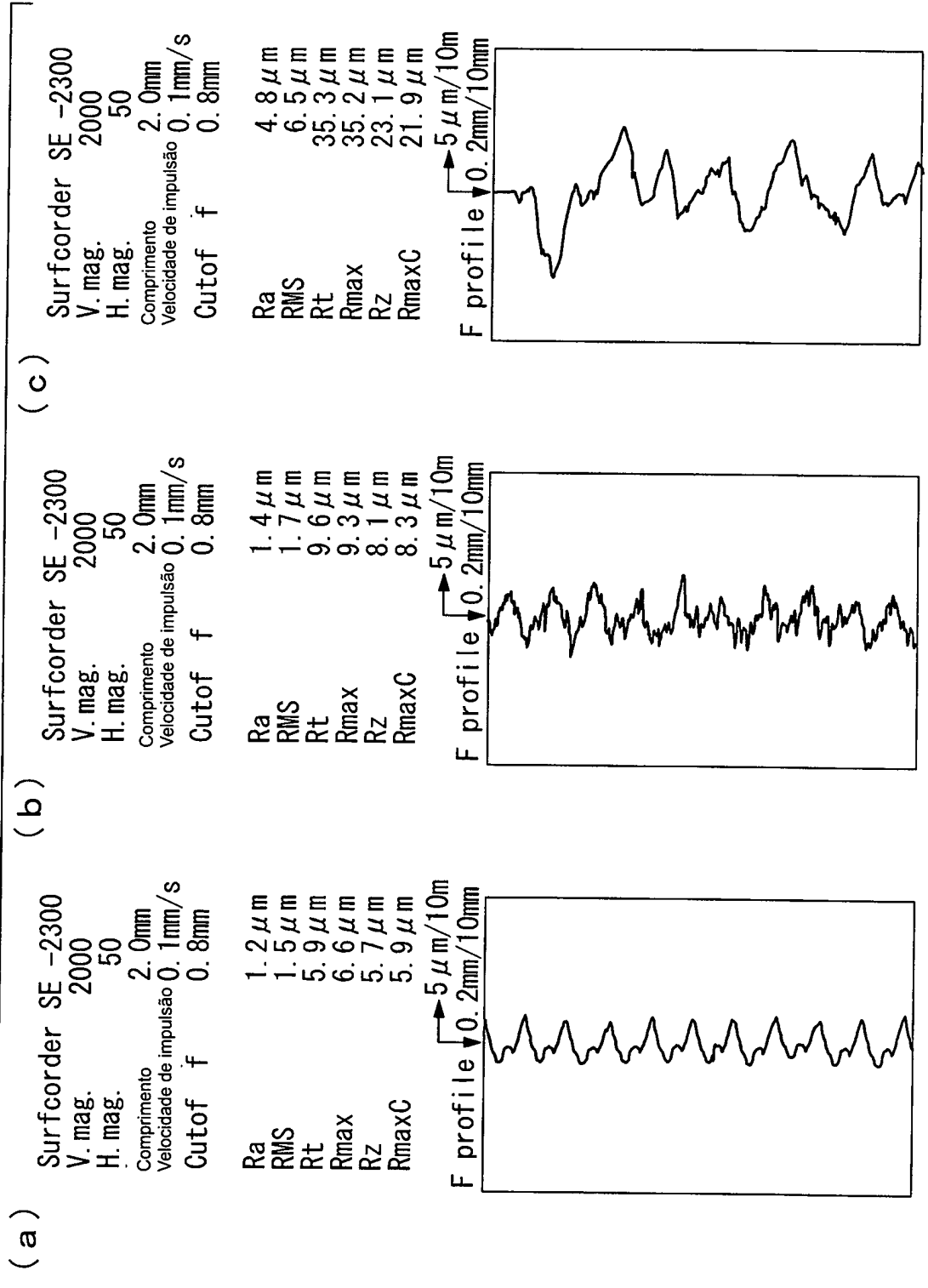


FIG. 2

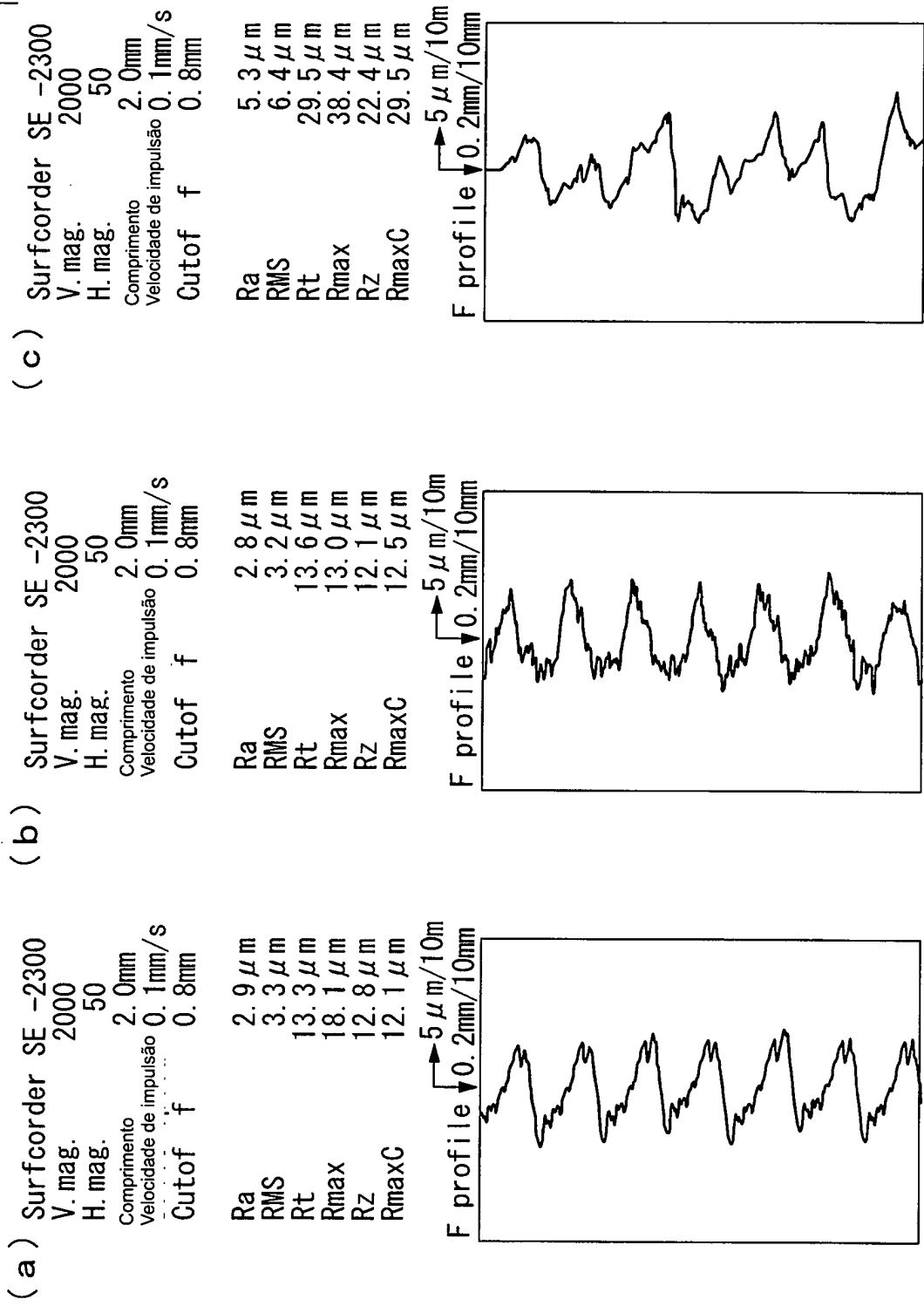
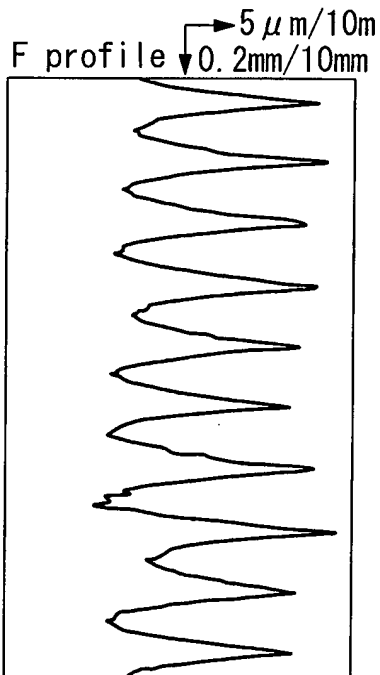


FIG. 3

(a)

Surfcorder SE -2300  
 V. mag. 5000  
 H. mag. 50  
 Comprimento 2.0mm  
 Velocidade de impulsão 0.1mm/s  
 Cutoff f 0.8mm

Ra 1.64  $\mu\text{m}$   
 Rt 8.11  $\mu\text{m}$   
 Rmax 8.79  $\mu\text{m}$   
 Rz 7.74  $\mu\text{m}$   
 RmaxD 8.11  $\mu\text{m}$   
 RzD 6.85  $\mu\text{m}$



(b)

Surfcorder SE -2300  
 V. mag. 5000  
 H. mag. 50  
 Comprimento 2.0mm  
 Velocidade de impulsão 0.1mm/s  
 Cutoff f 0.8mm

Ra 1.69  $\mu\text{m}$   
 RMS 2.00  $\mu\text{m}$   
 Rt 7.57  $\mu\text{m}$   
 Rmax 11.57  $\mu\text{m}$   
 Rz 9.78  $\mu\text{m}$   
 RmaxD 7.33  $\mu\text{m}$   
 RzD 6.95  $\mu\text{m}$

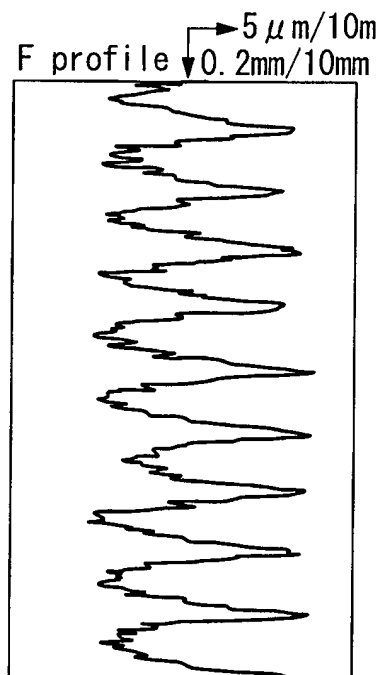
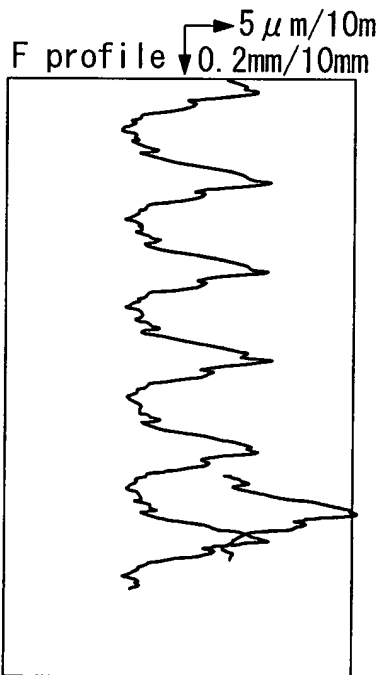


FIG. 4

(a)

Surfcorder SE -2300  
 V. mag. 2000  
 H. mag. 50  
 Comprimento 2.0mm  
 Velocidade de impulsão 0.1mm/s  
 Cutoff f 0.8mm

Ra 3.2  $\mu\text{m}$   
 Rt 12.9  $\mu\text{m}$   
 Rmax 16.0  $\mu\text{m}$   
 Rz 14.3  $\mu\text{m}$   
 RmaxD 12.6  $\mu\text{m}$   
 RzD 12.2  $\mu\text{m}$



(b)

Surfcorder SE -2300  
 V. mag. 5000  
 H. mag. 50  
 Comprimento 2.0mm  
 Velocidade de impulsão 0.1mm/s  
 Cutoff f 0.8mm

Ra 2.89  $\mu\text{m}$   
 RMS 3.22  $\mu\text{m}$   
 Rt 13.08  $\mu\text{m}$   
 Rmax 13.57  $\mu\text{m}$   
 Rz 11.81  $\mu\text{m}$   
 RmaxD 11.52  $\mu\text{m}$   
 RzD 10.64  $\mu\text{m}$

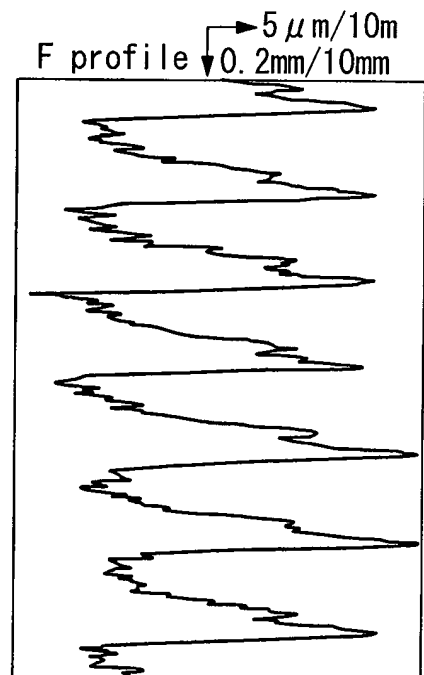


FIG. 5

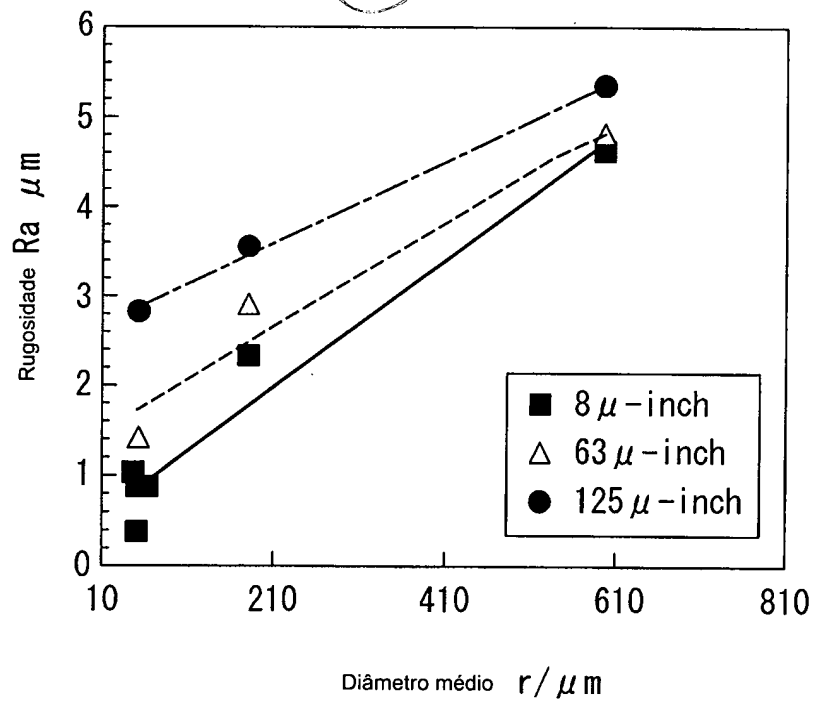


FIG. 6

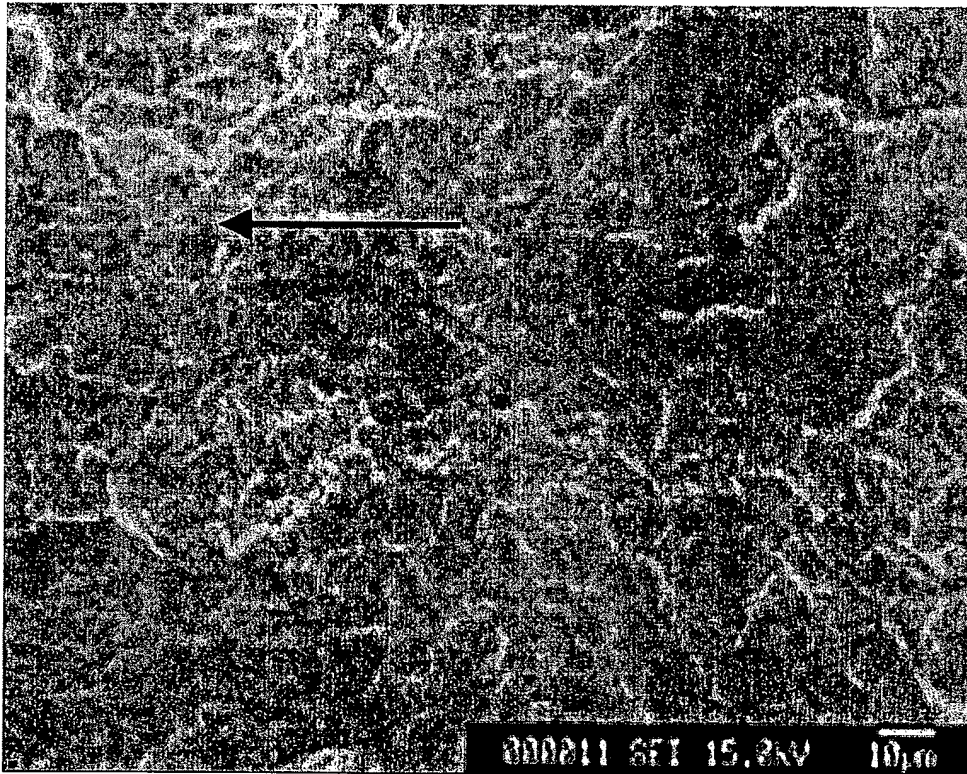
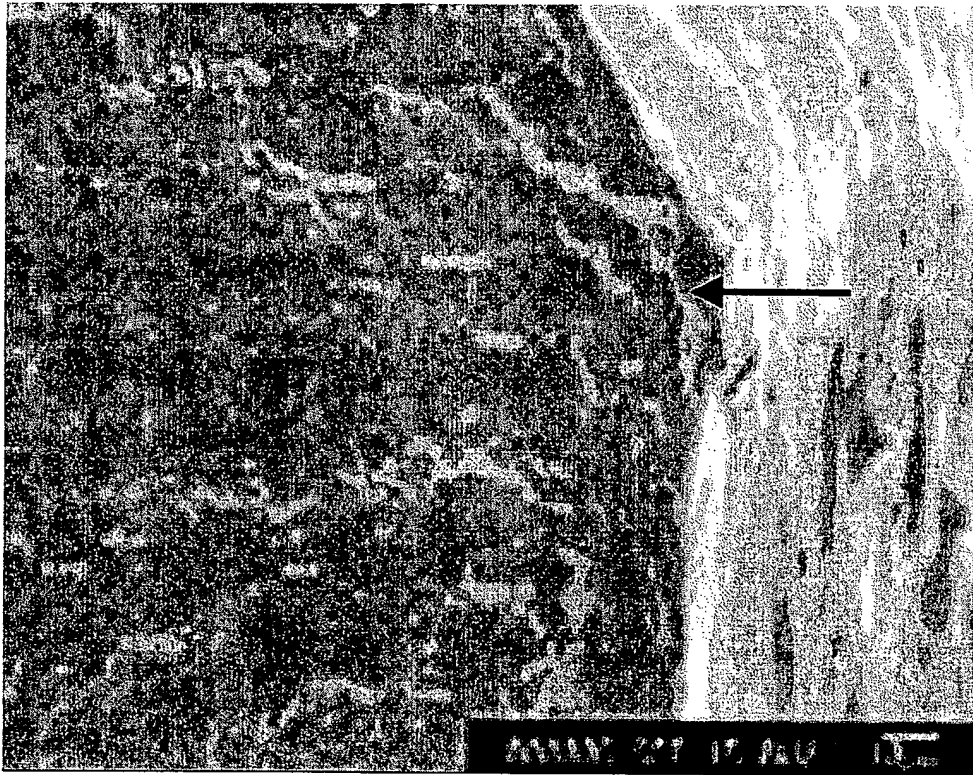


FIG. 7



**RESUMO**

Patente de Invenção: "**PROCESSO PARA PRODUÇÃO DE COMPONENTE METÁLICO E MEMBRO ESTRUTURAL**".

5 A presente invenção refere-se a um processo para produção de um componente metálico de um membro estrutural ou similar usado em uma aeronave ou em um automóvel ou similar, o processo incluindo o jateamento da superfície do material metálico, em que as propriedades de fadiga do material metálico são melhoradas sem quase nenhuma variação na rugosidade da superfície durante o curso do jateamento. O processo de grenalhagem da  
10 superfície do material metálico usa um material de jateamento tendo um tamanho médio de partícula de não mais que 200  $\mu\text{m}$ , e a razão da rugosidade da superfície do material metálico após a etapa de projeção em relação à rugosidade da superfície do material metálico antes da etapa de projeção é de não menos que 0,8 e não mais que 1,5.