



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) BR 112015008267-0 B1



(22) Data do Depósito: 17/10/2013

(45) Data de Concessão: 05/10/2021

(54) Título: MÉTODO PARA FABRICAR UM ÍMÃ DE TERRAS-RARAS

(51) Int.Cl.: H01F 41/02; B22F 3/17; B22F 3/20; C22C 28/00; H01F 1/057; (...).

(30) Prioridade Unionista: 10/10/2013 JP 2013-212883; 23/10/2012 JP 2012-233812.

(73) Titular(es): TOYOTA JIDOSHA KABUSHIKI KAISHA.

(72) Inventor(es): DAISUKE ICHIGOZAKI; NORITAKA MIYAMOTO; TETSUYA SHOJI; YUYA IKEDA; AKIRA MANABE.

(86) Pedido PCT: PCT JP2013078191 de 17/10/2013

(87) Publicação PCT: WO 2014/065188 de 01/05/2014

(85) Data do Início da Fase Nacional: 14/04/2015

(57) Resumo: MÉTODO DE PRODUÇÃO DE ÍMÃ DE TERRAS-RARAS. Proporciona-se um método para a fabricação de um ímã de terras-raras através do processamento de deformação a quente, capaz de fabricar um ímã de terras-raras com alto grau de orientação em toda a área do ímã de terras-raras fabricado e alta remanência, sem aumento de custos para o processamento do mesmo. Um método inclui: uma etapa de formação de pó por prensagem como um material magnético de terras-raras para formar um compacto (S), etapa de execução de processamento de deformação a quente para o compacto (S), fabricando, desse modo, o ímã de terras-raras (C"). A extrusão é para colocar um compacto (S) em um molde (Da), e aplicar pressão ao compacto (S') em um estado aquecido com um punção de extrusão (PD) de modo a reduzir a espessura por extrusão para preparar o corpo intermediário de ímã de terras-raras (S) tendo uma forma de folha, e o esmagamento é para aplicar pressão ao corpo intermediário do ímã de terras-raras (S") no sentido da espessura para reduzir a espessura, fabricando, desse modo, o ímã de terras-raras (C).

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**MÉTODO PARA FABRICAR UM IMÃ DE TERRAS-RARAS**".

Campo Técnico

[001] A presente invenção refere-se a um método para a fabricação de um ímã de terras-raras.

Antecedentes da Técnica

[002] Ímãs de terras-raras, contendo elementos de terras-raras, tal como os lantanídeos são chamados também de ímãs permanentes, e são usados para motores que compõem um disco rígido e um MRI (imagens de ressonância magnética) bem como para o acionamento de motores de veículos híbridos, veículos elétricos e similares.

[003] Índices para o desempenho de ímã de tais ímãs de terras-raras incluem remanência (densidade de fluxo residual) e uma força coercitiva. Entretanto, como a quantidade de calor gerada em um motor aumenta devido à tendência de motores mais compactos e maior densidade de corrente, ímãs de terras-raras incluídos nos motores também são obrigados a ter melhor resistência ao calor, e um dos desafios de pesquisa importantes no campo técnico relacionado é como manter as características magnéticas de um ímã em altas temperaturas.

[004] Ímãs de terras-raras incluem ímãs sinterizados típicos incluindo grãos cristalinos (fase principal) de aproximadamente 3 a 5 μm na escala que compõem a estrutura e ímãs nano-cristalinos incluindo grãos cristalinos mais finos de aproximadamente 50 nm a 300 nm em nano escala. Entre eles, ímãs nano-cristalinos capazes de diminuir a quantidade de elementos pesados caros de terras-raras para serem adicionados enquanto faz os grãos cristalinos mais finos atraírem a atenção atualmente.

[005] O seguinte descreve resumidamente um exemplo do método de fabricação de um ímã de terras-raras. Por exemplo, metal fundi-

do Nd-Fe-B é solidificado rapidamente para ser pó fino, enquanto se pressiona formando o pó fino para ser um compacto. Processamento de deformação a quente é então executado para este compacto dar anisotropia magnética ao mesmo para preparar um ímã de terras-raras (ímã de orientação).

[006] Diversas técnicas têm sido divulgadas para este processamento de deformação a quente. Em um processamento de deformação a quente típico, o esmagamento é realizado, em que um compacto (a granel) obtido ao moldar pó magnético é colocado em uma matriz, e é aplicada pressão ao compacto com punções. Tal esmagamento, no entanto, tem um grande problema e que são geradas rachaduras (incluindo microfissuras) na periferia mais externa do ímã de terras-raras processado onde tensão de tração é gerada. Isto é, no caso de esmagamento, a parte da periferia paira devido ao atrito agindo sobre a face da extremidade do ímã de terras-raras, o que causa tal tensão de tração. Um ímã de terras-raras Nd-Fe-B tem resistência à tração fraca contra este esforço de tração, e por isso, é difícil para tal ímã suprimir as rachaduras devido a esse esforço de tração. Por exemplo, essas rachaduras podem ser geradas quando o índice de processamento é de aproximadamente 40 a 50%. A distribuição de tensões é equivalente à falta de uniformidade da remanência (Br), e, especialmente, a remanência é extremamente baixa em uma região de 50% ou menos, o que significa que o rendimento do material é baixo. Para resolver estes problemas, a resistência de atrito pode ser diminuída, porém, um método convencional no qual lubrificação a quente é realizada depende apenas do fluido de lubrificação, e por isso é difícil de utilizar tal método para esmagamento usando um sistema aberto.

[007] Tais rachaduras geradas em um ímã de terras-raras causam a deformação de processamento que é formada para melhorar o grau de orientação para ser aberto nas posições das rachaduras, fa-

lhando assim em dirigir a energia de deformação para a orientação cristalina suficientemente. Isto se torna um fator para inibir a melhoria da remanência.

[008] Em seguida, para resolver o problema de rachaduras gerado durante o esmagamento como indicado acima, as Literaturas de Patente 1-5 revelam técnicas, em que um compacto como um todo é fechado dentro de uma cápsula de metal, seguido por um processamento de deformação a quente enquanto pressiona esta cápsula de metal com punções superiores e inferiores. De acordo com estas técnicas, eles dizem que a anisotropia magnética do ímã de terras-raras pode ser melhorada enquanto suprime rachaduras que são um problema durante o processamento de deformação a quente.

[009] Embora eles digam que as técnicas divulgadas nas Literaturas de Patente 1 a 5 podem resolver rachaduras, sabe-se que tal método de encerrar o compacto em uma cápsula de metal faz com que o ímã de terras-raras obtido pelo processamento de deformação a quente para receber fortes pressões a partir da cápsula de metal devido a uma diferença na expansão térmica durante o resfriamento e assim gerar as rachaduras. Desta forma, rachaduras serão geradas quando uma cápsula de metal também é usada, e para evitar tal problema, a Literatura de Patente 6 revela um método de fazer uma cápsula de metal mais fina por esmagamento através de várias etapas, de modo a diminuir as restrições/pressões da cápsula de metal. Por exemplo, a Literatura de Patente 6 divulga a concretização, em que uma chapa de ferro de 7 mm de espessura ou mais é usada. Contudo, tal chapa de ferro de 7 mm de espessura ou de mais, não pode se dizer fina o suficiente para impedir completamente as rachaduras, e sabe-se que as rachaduras se geram, realmente, nesse caso. Além disso, a forma do ímã após o esmagamento não pode se dizer uma forma quase nítida, que requer processamento de acabamento em toda a

face, conduzindo assim a desvantagens, tais como uma diminuição no rendimento do material e um aumento nos os custos de processamento em virtude da adição de custo de processamento.

[0010] Quando a espessura de uma cápsula de metal que cobre toda a face de um compacto completamente é feita mais fina para ser o grau de espessura que não é divulgado nas técnicas convencionais, tal cápsula irá ser quebrada na taxa de deformação de 1 / seg. ou mais, o que provoca desigualdade descontínua no ímã de terras-raras processado e isso causa uma perturbação de orientação. Deste modo, de tal método dificilmente se espera uma alta remanência.

[0011] Então em vez do esmagamento que tem sido utilizado normalmente, um método de utilização de extrusão para o processamento de deformação a quente pode ser considerado, de forma a dar tensão a um compacto.

[0012] Por exemplo, a Patente Literatura 7 revela um método para a extrusão, no qual a dimensão na direção X da seção transversal extrudada em um ímã permanente que é extrudado a partir de um pré-compacto para dar forma é estreitado, Considerando que a dimensão ortogonal ao mesmo na direção Y é expandida, de modo que a relação de deformação ϵ_2/ϵ_1 está na faixa de 0,2-3,5 onde ϵ_1 indica uma tensão na direção de extrusão no ímã permanente com referência ao pré-compacto, e ϵ_2 denota uma tensão na direção - Y. Enquanto a extrusão convencional normalmente é para obter uma forma anelar, o método divulgado na Literatura de Patente 7 é para a extrusão ter uma forma de folha.

[0013] Isto é, este método tem por objetivo aumentar o grau de orientação ao controlar o alongamento na direção de compressão e na direção perpendicular a esta. De modo a controlar o alongamento praticamente nessas direções ortogonais com precisão, o molde de formação tem de ter uma forma complicada, significando um aumento no

custo de equipamento. Além disso, embora a extrusão possa introduzir uma tensão uniforme na direção do deslocamento, ela tem uma grande área de atrito com o molde de formação, e de modo que o produto obtido tende a ter uma área de baixa tensão no seu centro. Isto é porque a extrusão permite o processamento somente mediante compressão e cisalhamento, e assim as rachaduras devido à tensão podem ser suprimidas, reciprocamente o que significa que a superfície do produto extrudido torna-se uma área de alta tensão porque sempre recebe fricção e o centro torna-se de uma área de baixa tensão.

[0014] Além disso, tal extrusão exige um molde de formação feito de um material com alta resistência a altas temperaturas porque uma força de aproximadamente 200 MPa nele atua a uma temperatura próxima de 800° C quando os cristais de um ímã de terras-raras Nd-Fe-B, por exemplo, estão para ser orientados pelo processamento de deformação quente. Por exemplo, o Inconel ou carboneto é preferível como tal material do molde de formação, porém estes metais de carboneto são difíceis de cortar, significando uma grande carga sobre os custos de processamento. Quando extrusão é realizada para obter uma forma de folha como na técnica divulgada na Literatura de Patente 7, a tensão será concentrada nos cantos do produto da extrusão por causa de tal forma, em comparação com um produto de extrusão anelar. Em tal caso, a durabilidade do molde de formação se deteriorará e assim o número de produtos que podem ser produzidos com um molde de formação será reduzido, que também se torna um fator para aumentar o custo de processamento. Embora a técnica revelada na Literatura de Patente 7 destina-se a melhorar o desempenho do produto processado, a forma de extrusão é realmente complicada tridimensionalmente, e assim o processamento é possibilitado somente com moldes separados, e um aumento nos os custos de processamento é grande.

[0015] Deste modo, o desenvolvimento de um método para a fa-

bricação de um imã de terras-raras por meio processamento deformação a quente é necessário de modo que o imã de terras-raras produzido tem tensões favoráveis em toda a área e tem alto grau de orientação e dessa maneira alta remanência sem aumentar custos de processamento por isso.

Lista de Referência

Literaturas de Patente

- [0016] Literatura da Patente 1: JP H02-250920 A
- [0017] Literatura da Patente 2: JP H02-250922 A
- [0018] Literatura da Patente 3: JP H02-250919 A
- [0019] Literatura da Patente 4: JP H02-250918 A
- [0020] Literatura da Patente 5: JP H04-044301 A
- [0021] Literatura da Patente 6: JP H04-134804 A
- [0022] Literatura da Patente 7: JP 2008-91867 A

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

Problema Técnico

[0023] Tendo em vista os problemas tal como acima referido, a presente invenção tem como objetivo proporcionar um método para a fabricação de um imã de terras-raras através do processamento de deformação a quente, capaz de fabricar um imã de terras-raras com tensões favoráveis em toda a área e tendo alto grau de orientação e dessa maneira alta remanência sem aumentar custos de processamento por isso.

Solução do Problema

[0024] A fim de cumprir o objetivo, um método para a fabricação de um imã de terras-raras da presente invenção inclui: uma primeira etapa de formação de pó por prensagem como um material magnético de terras-raras para formar um compacto, o pó, incluindo uma fase principal RE-Fe-B (RE: pelo menos um tipo de Nd e Pr) e uma liga de RE-X (X: elemento metálico) fase de contorno de grão em torno da fa-

se principal; e uma segunda etapa de execução de processamento de deformação a quente para o compacto para dar anisotropia magnética ao compacto, fabricando, desse modo, o ímã de terras-raras. O processamento de deformação a quente na segunda etapa inclui duas etapas que são realizadas por extrusão para preparar um corpo intermediário de ímã de terras-raras e o esmagamento é realizado para o corpo intermediário de ímã de terras-raras para fabricar o ímã de terras-raras, a extrusão é para colocar um compacto num molde, e aplicar pressão sobre o compacto com um punção de extrusão de modo a reduzir uma espessura do compacto por extrusão para preparar o corpo intermediário do ímã de terras-raras tendo uma forma de folha, e o esmagamento é para aplicar pressão ao corpo intermediário ímã de terras-raras em forma de folha no sentido da espessura para reduzir a espessura, fabricando, desse modo, o ímã de terras-raras.

[0025] No método de fabricação da presente invenção, o processamento de deformação a quente é realizado na ordem de extrusão e esmagamento, pelo que a área de baixo grau de tensões na zona central do produto de extrusão (corpo intermediário de ímã de terras-raras) que muitas vezes ocorre durante a extrusão pode ter de alto grau de tensões dadas a partir do seguinte esmagamento, através do qual o ímã de terras-raras fabricado pode ter alto grau de tensões em toda a área favoravelmente, e, conseqüentemente, o ímã de terras-raras fabricado pode ter alto grau de orientação e de alta remanência.

[0026] O método de fabricação da presente invenção inclui como a primeira etapa, a etapa de pó de formação por prensagem como um material magnético de terras-raras para formar um compacto.

[0027] Ímãs de terras-raras como um alvo do método de fabricação da presente invenção incluem não apenas ímãs nano-cristalinos incluindo uma fase principal (cristais), constituindo a estrutura de aproximadamente 200 nm ou menos no tamanho de grão, porém, também

aqueles de aproximadamente 300 nm ou mais no tamanho do grão, bem como ímãs sinterizados e ímãs aderidos incluindo grãos cristalinos ligados com resina aglutinante de 1 µm ou mais no tamanho do grão. Entre eles, é desejável que as dimensões da fase principal do pó magnético antes do processamento por deformação a quente sejam ajustadas de modo que o ímã de terras-raras finalmente fabricado tenha fase principal tendo a dimensão média máxima (tamanho do grão médio máximo) de aproximadamente 300 a 400 nm ou menos.

[0028] Uma fita de solidificação rápida (fita esfriada rapidamente) como grãos de cristais finos é preparada por resfriamento rápido de um líquido, e a fita de solidificação rápida é moída grossa, por exemplo, para preparar pó magnético para ímã de terras-raras. Este pó magnético é carregado em um molde, por exemplo, é sinterizado enquanto se aplica pressão ao mesmo com punções para ser uma massa, formando assim um compacto isotrópico.

[0029] Este compacto tem uma estrutura de metal incluindo uma fase principal RE-Fe-B de uma estrutura de nano-cristal (RE: pelo menos um tipo de Nd e Pr, e mais especificamente qualquer um ou dois tipos, ou mais, de Nd, Pr, Nd-Pr) e uma liga RE (X: elemento metálico) fase de contorno de grão em torno da fase principal.

[0030] Na segunda etapa, processamento de deformação a quente é realizado para o compacto preparado no primeiro passo para dar anisotropia magnética ao compacto, fabricando, assim, o ímã de terras-raras sob a forma de um ímã de orientação.

[0031] A segunda etapa inclui duas etapas que são realizadas por extrusão para preparar um corpo intermediário de ímã de terras-raras e em seguida o esmagamento é realizado para o corpo intermediário de ímã de terras-raras.

[0032] A extrusão é para colocar o compacto preparado na primeira etapa em um molde, e aplicar pressão sobre o compacto com um

punção de extrusão de modo a reduzir uma espessura do compacto por extrusão para preparar o corpo intermediário de ímã de terras-raras tendo uma forma de folha. Este processo de extrusão tem grosso modo duas formas de processamento. Em uma das formas processamento, um punção de extrusão que tem uma cavidade em forma de folha ali dentro é usado para pressionar um compacto com este punção de extrusão de modo a reduzir a espessura do compacto ao extrair uma parte do compacto no oco do punção de extrusão, fabricando assim o corpo intermediário do ímã de terras-raras em forma de folha, que é chamado de extrusão para trás (um método para produzir um corpo intermediário do ímã de terras-raras pela extrusão de um compacto na direção oposta da direção de extrusão do perfurador). O outro método de processamento é o de colocar um compacto em um molde que tem uma cavidade em forma de folha ali dentro e pressionar o compacto com um perfurador que não tem uma cavidade de modo a reduzir a espessura do compacto em quanto se faz a extrusão de uma parte do compacto a partir da cavidade do molde, desse modo, a fabricação de um corpo intermediário do ímã de terras-raras em forma de folha, que é chamado de extrusão para trás (um método para produzir um corpo intermediário do ímã de terras-raras pela extrusão de um compacto na direção oposta da direção de extrusão do perfurador). Em qualquer um destes métodos, a extrusão faz corpo intermediário do ímã de terras-raras preparado por pressurização com o punção de extrusão ter anisotropia na direção perpendicular à direção de prensagem com este punção de extrusão. Isto é, a anisotropia é gerada na direção da espessura da espessura da forma de folha da cavidade em forma de folha do punção de extrusão.

[0033] Visto que o corpo intermediário do ímã de terras-raras preparado neste estágio tem uma área central com baixo grau de tensões comparada com essas em uma área externa, o que significa que essa

área central tem anisotropia insuficiente.

[0034] Em seguida, o esmagamento é realizado para o corpo intermediário do ímã de terras-raras em forma de folha preparado pela extrusão de maneira a pressionar o corpo intermediário do ímã de terras-raras na direção da espessura do mesmo que é a direção do eixo anisotrópico. Isto reduz a espessura do corpo intermediário do ímã de terras-raras e dá tensões à área de baixa tensão no centro para ter anisotropia favorável no centro, pelo qual um ímã de terras-raras fabricado como um todo pode ter anisotropia favorável, e ter alta remanência.

[0035] Em uma concretização preferida do método de fabricação da presente invenção, um índice de processamento na extrusão é de 50 a 80% e um índice de processamento no esmagamento é de 10 a 50%.

[0036] Essas faixas numéricas para os dois tipos de processamento foram encontradas a partir das verificações efetuadas pelos presentes inventores. Quando o índice de processamento de extrusão é menor do que 50%, a remanência no momento da extrusão é baixa, e assim a quantidade de processamento durante o esmagamento a seguir aumenta inevitavelmente. Como resultado, o ímã de terras-raras fabricado tende a gerar rachaduras na periferia. Por outro lado, quando o índice de processamento de extrusão excede os 80%, as tensões no momento da extrusão são demasiado grandes, e assim ocorrem rachaduras facilmente na estrutura cristalina, resultando em uma tendência para diminuir a remanência. Com base nestes resultados da verificação, são especificados tais valores superiores e inferiores do índice de processamento para a extrusão.

[0037] Quando o índice de processamento do esmagamento é inferior a 10%, as tensões não podem ser dadas suficientemente ao centro do corpo intermediário do ímã de terras-raras, resultando em

dificuldades para produzir um ímã de terras-raras possuindo elevada remanência como um todo. Quando o índice de processamento é superior a 50%, rachaduras ocorrem facilmente na periferia do ímã de terras-raras produzido devido ao esforço de tensão. Com base nestes resultados da verificação, são especificados tais valores superiores e inferiores do índice de processamento para o esmagamento.

[0038] Uma liga modificadora como uma liga de Nd-Cu, uma liga de Nd-Al, uma liga de Pr-Cu, ou uma Pr-Al pode ser limite de grão difusa para o ímã de terras-raras (ímã de orientação) preparada na segunda etapa, para melhorar ainda mais a força coercitiva do ímã de terras-raras. Uma liga de Nd-Cu tem um ponto eutético de aproximadamente 520°C, uma liga de Pr-Cu tem um ponto eutético de aproximadamente 480° C, uma liga de Nd-Al tem um ponto eutético de aproximadamente 640° C e uma liga de Pr-Al tem um ponto eutético de aproximadamente 650° C, todas as quais estão muito abaixo de 700 a 1,000° C que provoca o engrossamento de grãos de cristal constituindo um ímã nano-cristalino, e assim elas são especialmente preferíveis quando o ímã de terras-raras inclui ímã nano-cristalino.

[0039] Preferivelmente, na fase principal RE-Fe-B (RE: pelo menos um tipo de Nd e Pr) do pó como o material magnético de terras-raras, o conteúdo de RE é 29% de massa $\leq RE \leq 32\%$ massa, e a fase principal do ímã de terras-raras fabricado tem um tamanho médio de grãos de 300 nm ou menos.

[0040] Se RE for menos do que 29% em massa, rachaduras tendem a ocorrer durante o processamento de deformação a quente, significando orientação extremamente pobre, e se RE excede 29% em massa, as tensões do processamento por deformação a quente serão absorvidas em um contorno do grão que é macio, significando orientação deficiente e uma pequena proporção da fase principal, ou seja, conduzindo a uma diminuição na densidade do fluxo residual.

[0041] Em uma concretização preferida do método de fabricação da presente invenção, deixar isso, para o corpo intermediário do ímã de terras-raras em forma de folha preparado pela extrusão, uma direção para a extrusão é a direção L, uma direção ortogonal à direção para a extrusão é a direção W, e uma direção que é ortogonal a um plano definido por um eixo na direção L e um eixo na direção W e que está na direção da espessura do corpo intermediário do ímã de terras-raras em forma de folha estão uma direção do eixo C que é uma direção de magnetização fácil, alongando-se na direção L e que se estende na direção W durante o esmagamento são ajustados de modo que um índice da anisotropia no plano: $Br(W) / Br(L)$ torna-se 1,2 ou menos, o índice de anisotropia no plano: $Br(W) / Br(L)$ são representada com uma proporção entre remanência $Br(W)$ na direção W e remanência $Br(L)$ na direção L do ímã de terras-raras após o esmagamento.

[0042] A fim de dar anisotropia magnética na direção de magnetização fácil (direção do eixo-C) do ímã de terras-raras, o método de fabricação da presente concretização é configurado para remover a anisotropia entre o eixo com direção L e o eixo com direção W que definem o plano ortogonal para a direção do eixo C, ou para minimizar tal anisotropia.

[0043] A direção L é a direção de extrusão, o que significa que o corpo intermediário do ímã de terras-raras preparado pela extrusão é esticado ligeiramente na direção W, mas, é esticado em grande parte na direção G. Ou seja, o corpo intermediário de ímã de terras-raras preparado pode ter características magnéticas muito melhoradas na direção L, porém, é menos melhorado nas características magnéticas na direção W.

[0044] Em seguida, no esmagamento (forjamento), após a extrusão, o alongamento na direção W é aumentado em relação ao alongamento na direção L.

gamento na direção G desta vez, através do qual o ímã de terras-raras fabricado tem características magnéticas semelhantes entre a direção L e a direção W, e assim a anisotropia pode ser removida na face definida com o eixo de direção L e o eixo com direção W. Como resultado, a anisotropia na direção de magnetização fácil (direção do eixo-C) que é ortogonal à face definida com o eixo de direção L e o eixo com direção W pode ser aumentada, e assim remanência Br do ímã de terras-raras pode ser melhorada.

[0045] A verificação dos presentes inventores mostra que o alongamento na direção L e alongamento na direção W durante o esmagamento pode ser ajustado de modo que um índice de anisotropia no plano: $Br(W) / Br(L)$ torna-se 1,2 ou menos, o índice de anisotropia no plano: $Br(W) / Br(L)$ sendo representada com uma proporção entre remanência Br (W) na direção W e remanência Br (L) na direção L, pelo qual a remanência na direção do eixo C pode ser alta.

[0046] Também se descobriu que quando uma proporção entre uma proporção de alongamento na direção W e uma proporção de alongamento na direção L, durante o esmagamento: a proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L varia de 1 a 2,5, o índice de anisotropia no plano: $Br(W) / Br(L)$ torna-se 1,2 ou menos.

[0047] Numa modalidade para o método de ajuste de alongamento na direção L e alongamento na direção W de modo que uma proporção entre uma proporção de alongamento na direção W e uma proporção de alongamento na direção L, durante o esmagamento: a proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L varia de 1 a 2,5, um molde para o esmagamento para colocar nele o corpo intermediário de ímã de terras-raras tem dimensões ajustadas, e tal molde que tenha as dimensões que produzem tal proporção pode ser utilizado.

[0048] Como um outro método, as dimensões de um plano definido com o eixo na direção L e o eixo na direção W do corpo intermediário de ímã de terras-raras preparado pela extrusão podem ser ajustadas. Isto é, quando um corpo intermediário de ímã de terras-raras que tem um retângulo na vista em planta é esmagado por prensagem com punções ou similares verticalmente sem ser limitado nas suas faces laterais, o alongamento do corpo intermediário ao longo dos lados curtos é maior do que o alongamento ao longo dos lados longos devido ao atrito gerado entre as faces superior e inferior do corpo intermediário de ímã de terras-raras e os punções superior e inferior. Este método utiliza tal ação, e ajusta o comprimento do corpo intermediário do ímã de terras-raras em forma de folha produzido pela extração de modo que a proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L durante o esmagamento varia de 1 a 2, 5, e, em seguida, executa o esmagamento para tal corpo intermediário de ímã de terras-raras tendo as dimensões ajustadas.

Efeitos Vantajosos da Invenção

[0049] Como pode ser compreendido a partir das descrições acima, de acordo com o método de fabricação de um ímã de terras-raras da presente invenção, processamento por deformação a quente é realizado para fins de extrusão e esmagamento, pelo que a área de baixo grau de tensões na área central do produto da extrusão (corpo intermediário do ímã de terras-raras) que muitas vezes ocorrem durante a extrusão pode ter alto grau de tensões dadas a partir do esmagamento a seguir, de acordo com o qual o ímã de terras-raras fabricado pode ter alto grau de tensões em toda a área favoravelmente, e, consequentemente, o ímã de terras-raras fabricado pode ter alto grau de orientação e de alta remanência.

Breve Descrição dos Desenhos

[0050] As Figuras 1a, b ilustram esquematicamente uma primeira

etapa de um método para a fabricação um ímã de terras-raras que é a Concretização 1 da presente invenção nesta ordem.

[0051] A Figura 2 ilustra a microestrutura de um compacto que é fabricado na primeira etapa.

[0052] A Figura 3a ilustra esquematicamente um método de extrusão, em uma segunda etapa da Concretização 1 do método de fabricação, e a Figura 3b é uma vista tomada ao longo das setas b-b da Figura 3a.

[0053] A Figura 4a ilustra esquematicamente o estado de um corpo intermediário do ímã de terras-raras preparado por extrusão que está parcialmente cortado, e a Figura 4b que descreve esquematicamente um método para esmagamento na segunda etapa.

[0054] A Figura 5 descreve a distribuição de tensões em um produto processado durante a extrusão e esmagamento.

[0055] A Figura 6 ilustra a microestrutura de um ímã de terras-raras (ímã de orientação) fabricado da presente invenção.

[0056] A Figura 7 descreve esquematicamente a segunda etapa da Concretização 2 do método de fabricação.

[0057] A Figura 8 ilustra um resultado da experiência na taxa de melhoria de remanência em cada uma das partes de um ímã de terras-raras preparado por extrusão com o índice de processamento de 70%.

[0058] A Figura 9 ilustra um resultado da experiência na taxa de melhoria de remanência em cada uma das partes de um ímã de terras-raras preparado por esmagamento com o índice de processamento de 25%.

[0059] A Figura 10 ilustra um resultado da experiência na taxa de melhoria de remanência em cada uma das partes de um ímã de terras-raras preparado por extrusão com o índice de processamento de 70% e por esmagamento com o índice de processamento de 25%.

[0060] A Figura 11 ilustra um resultado experimental na relação

entre o índice de processamento de extrusão e a remanência.

[0061] A Figura 12 ilustra um resultado experimental na relação entre os índices de processamento de extrusão e esmagamento e a remanência.

[0062] A Figura 13 ilustra um resultado experimental para especificar a relação entre a proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L e a proporção de alongamento em cada direção.

[0063] A Figura 14 ilustra um resultado experimental para especificar a relação entre a proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L e a remanência Br na direção de magnetização fácil.

[0064] A Figura 15 ilustra um resultado experimental para especificar a relação entre o índice de anisotropia no plano e a remanência Br na direção do eixo C.

[0065] A Figura 16 ilustra um resultado experimental para especificar a relação entre a proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L e o índice de anisotropia no plano e a remanência Br na direção do eixo C.

[0066] A Figura 17 ilustra uma imagem SEM de uma estrutura cristalina de um ímã de terras-raras na direção L e na direção W em que há uma grande diferença no alongamento entre a direção L e a direção W.

[0067] A Figura 18 ilustra uma imagem SEM de uma estrutura de cristal de um ímã de terras-raras na direção L e na direção W em que há uma grande diferença no alongamento entre a direção L e a direção W.

DESCRIÇÃO DAS CONCRETIZAÇÕES

[0068] A seguir se descrevem concretizações de um método da presente invenção para fabricar um ímã de terras-raras, com referên-

cia aos desenhos. O exemplo ilustrado descreve um método para a fabricação de um ímã de terras-raras que é um ímã nano-cristalino, e o método para fabricar um ímã de terras-raras da presente invenção não está limitado à fabricação de um ímã nano-cristalino, o que é aplicável à fabricação de um ímã sinterizado tendo grãos de cristal relativamente grandes (por exemplo, aproximadamente 1 μm no tamanho do grão), por exemplo, também. Extrusão a uma segunda etapa, no exemplo ilustrado utiliza um punção de extrusão que tem uma cavidade em forma de folha ali dentro para pressionar um compacto com este punção de extrusão de modo a reduzir a espessura do compacto ao extrair uma parte do compacto dentro da cavidade do punção de extrusão, fabricando assim um corpo intermediário do ímã de terras-raras em forma de folha (extrusão para trás). Em vez do exemplo ilustrado, o método pode ser um método de processamento da colocação de um compacto dentro de um molde que tem uma cavidade em forma de folha dentro dele e a prensagem do compacto com um perfurador que não tem uma cavidade de modo a reduzir a espessura do compacto enquanto faz a extrusão de uma parte do compacto da cavidade do molde, fabricando, assim, um corpo intermediário do ímã de terras-raras em forma de folha (extrusão para frente).

Concretização 1 de um método para a fabricação um ímã de terras-raras

[0069] As Figuras 1a, b ilustram esquematicamente uma primeira etapa de um método para a fabricação um ímã de terras-raras da presente invenção nesta ordem, e a Figura 2 ilustra a microestrutura de um compacto que é fabricada na primeira etapa. A Figura 3a ilustra esquematicamente um método de extrusão, em uma segunda etapa da Concretização 1 do método de fabricação, e a Figura 3b é uma vista tomada ao longo das setas b-b da Figura 3a. FIG. A Figura 4a ilustra esquematicamente o estado de um produto processado preparado

por extrusão que é cortado parcialmente para descrever o estado do corpo intermediário preparado, e a Figura 4b que descreve esquematicamente um método para esmagamento na segunda etapa.

[0070] Como ilustrado na Figura 1a, o lingote de liga é fundido a uma frequência elevada, e uma composição fundida dando um ímã de terras-raras é injetada a um cilindro de cobre R para fabricar uma fita de solidificação rápida B por um método de solidificação rápida usando um cilindro único em um forno (não ilustrado) sob uma atmosfera de gás Ar a pressão reduzida de 50 kPa ou inferior, por exemplo. A fita de solidificação rápida obtida é então moída grossa.

[0071] Entre as fitas de solidificação rápida que são moídas grossas, uma fita de solidificação rápida B tendo um tamanho máximo de aproximadamente 200nm ou menos é selecionada, e assim é carregada em uma cavidade definida um molde de carboneto D e um perfurador de carboneto P deslizando ao longo da cavidade do molde de carboneto conforme ilustrado na Figura 1b. Em seguida, é realizado o aquecimento ôhmico da mesma enquanto aplica pressão com o perfurador de carboneto P (direção X) e deixando a corrente fluir através da direção da pressão, pela qual um compacto S quadrangular-colunar é fabricado, incluindo uma fase principal Nd-Fe-B (tendo o tamanho de grão de aproximadamente 50 nm a 200 nm) de uma estrutura nano cristalina e uma liga Nd-X (X: elemento metálico) fase de contorno de grão em torno da fase principal (primeira fase). O conteúdo de RE está desejavelmente 29% em massa \leq RE \leq 32% em massa.

[0072] Aqui, a liga de Nd-X constituindo a fase de contorno de grão é uma liga contendo Nd e pelo menos um tipo de Co, Fe, Ga e semelhantes, a qual pode ser qualquer tipo de Nd-Co, Nd-Fe, Nd-Ga, Nd-Co-Fe, Co-Nd-Fe-Ga, ou a mistura de dois tipos ou mais deles e está em um estado rico em Nd.

[0073] Como ilustrado na Figura 2, o compacto S mostra uma es-

trutura cristalina isotrópica onde o espaço entre os grãos nanocristalinos MP (fase principal) é preenchida com a fase de contorno de grão BP.

[0074] Depois de preparar o compacto S quadrangular-colunar na primeira etapa, a extrusão é executada, tal como se ilustra na Figura 3, e, em seguida, é realizado o esmagamento no corpo intermediário de ímã de terras-raras preparado por extrusão como ilustrado na Figura 4, fabricando assim um ímã de terras-raras (ímã de orientação) pelo processamento de deformação a quente incluindo a extrusão e o esmagamento (segunda etapa). A seguir se descreve a segunda etapa em detalhes.

[0075] Em primeiro lugar, tal como ilustrado na Figura 3a, o compacto preparado na primeira etapa é colocado em um molde Da, seguido pelo aquecimento da matriz Da com uma bobina de alta frequência Co, preparando assim um compacto S' em um estado aquecido. Aqui, antes da colocação do compacto, é aplicado lubrificante à face interior do molde Da e à face interna do PDa oco em forma de folha do punção de extrusão PD.

[0076] O compacto S' no estado aquecido é pressionado com o punção de extrusão PD tendo o PDa oco em forma de folha (direção Y1), de modo a reduzir a espessura do compacto S' com esta pressurização e fazer a extrusão de uma parte do compacto no PDa oco em forma de folha (direção Z).

[0077] Aqui, o índice de processamento durante esta extrusão está representado por $(t_0-t_1)/t_0$, e o processamento com o índice de processamento de 60 a 80% é desejável.

[0078] Como um resultado desta extrusão, um corpo intermediário de ímã de terras-raras S'' é preparado tal como ilustrado na Figura 4a. Neste corpo intermediário de ímã de terras-raras S'', uma parte em forma de folha de t1 é cortada na espessura, a qual é usada no esma-

gamento a seguir como o corpo intermediário de ímã de terras-raras normal.

[0079] Ou seja, como ilustrado na Figura 4b, o corpo intermediário de ímã de terras-raras S" de t1 na espessura é colocado entre os punções superior e inferior PM (bigornas), e os punções PM são aquecidos com uma bobina Co de alta frequência, de modo a pressionar o corpo intermediário de ímã de terras-raras S" com o punção superior PM na direção da espessura (direção Y1) enquanto se aplica calor ao mesmo até que a espessura é reduzida da original t1 para t2, por meio do qual um ímã de terras-raras C sob a forma de um ímã de orientação pode ser fabricado.

[0080] Aqui, o índice de processamento durante este esmagamento está representado por $(t1-t2)/t1$, e o processamento com o índice de processamento de 10 a 30% é desejável.

[0081] Aqui a taxa de tensão é ajustada a 0,1 / s ou mais durante a extrusão e esmagamento do processamento de deformação a quente. Quando o grau de processamento (taxa de compressão) pelo processamento de deformação a quente é grande, por exemplo, quando a taxa de compressão é de aproximadamente 10% ou mais, tal processamento de deformação a quente pode ser chamado pesadamente processamento de deformação.

[0082] Como é evidente a partir da Figura 5 descrevendo a distribuição de tensões em um produto processado submetido a extrusão e esmagamento, o corpo intermediário de ímã de terras-raras preparado pela extrusão realizada em primeiro lugar tem uma área de elevado grau de tensões na superfície mas tem uma área de baixo grau de tensões no seu centro, o que significa que a anisotropia é insuficiente no centro em comparação com a região exterior.

[0083] Então, esmagamento é realizado para um corpo intermediário de ímã de terras-raras, pelo qual tensões são dadas favoravelmen-

te à área de baixo grau de tensões no seu centro enquanto mantém a área de elevado grau de tensões na superfície, pelo qual o centro também pode ser uma área de alto grau de tensões, e assim o ímã de terras-raras fabricado pode ter alto grau de tensões integralmente.

[0084] Desta maneira, o processamento de deformação a quente é realizado na segunda etapa na ordem de extrusão e esmagamento, pelo que a área de baixo grau de tensões na zona central do corpo intermediário de ímã de terras-raras que muitas vezes ocorre durante a extrusão pode ter de alto grau de tensões dadas a partir do seguinte esmagamento, através do qual o ímã de terras-raras fabricado pode ter alto grau de tensões em toda a área favoravelmente, e, consequentemente, o ímã de terras-raras fabricado pode ter alto grau de orientação e de alta remanência.

[0085] O ímã de terras-raras C (ímã de orientação) fabricado por processamento de deformação a quente, incluindo as duas etapas do processamento de extrusão e esmagamento inclui grãos MP nanocristalinos de formato achatado conforme ilustrado na Figura 6, cujas faces de contorno que estão substancialmente paralelas ao eixo anisotrópico são curvadas ou dobradas, significando que o ímã de orientação C tem excelente anisotropia magnética.

[0086] O ímã de orientação C no desenho é excelente porque tem uma estrutura de metal, incluindo uma fase principal RE-Fe-B (RE: pelo menos um tipo de Nd e Pr, ou Di (didímio) como um intermediário deles) e uma liga RE-X (X: Elemento metálico) fase de contorno de grão em torno da fase principal, o conteúdo do RE é 29% em massa \leq RE \leq 32% em massa, e a fase principal do ímã de terras-raras fabricado tem um tamanho médio de grãos de 300 nm. Desde que o teor de RE esteja dentro da faixa, o efeito de supressão de rachaduras durante o processamento de deformação a quente se torna mais elevado, e maior grau de orientação pode ser garantido. Tal faixa de conteúdo de

RE pode ainda assegurar que o tamanho da fase principal consiga uma alta remanência.

Concretização 2 de um método para a fabricação um ímã de terras-raras

[0087] Com referência a seguir à Figura 7, se descreve a seguir a Concretização 2 do método de fabricação de um ímã de terras-raras. Neste documento, a Figura 7 descreve esquematicamente uma outra concretização da segunda etapa. Isto é, a Concretização 2 do método de fabricação é similar à Concretização 1 na primeira etapa, e a segunda etapa do mesmo é modificada.

[0088] Um compacto S preparado na primeira etapa tem uma direção do eixo C que é a direção de magnetização fácil, e um eixo na direção L e um eixo na direção W que define uma face ortogonal a esta direção do eixo C. A direção de extrusão durante a extrusão na segunda etapa está nessa direção L (direção ao longo do eixo com direção L) e a direção ortogonal à direção de extrusão durante a extrusão é a direção W (direção ao longo do eixo com direção W).

[0089] O corpo intermediário de ímã de terras-raras S" (espessura t_0) preparado por extrusão na segunda etapa é expelido na direção L durante a extrusão, e por isso tem pequeno alongamento na direção W, enquanto que tem grande alongamento na direção L ($L_0 > W_0$). Ou seja, o corpo intermediário de ímã de terras-raras S" tem características magnéticas muito melhoradas na direção L, porém, tem características magnéticas menos melhoradas na direção W. Em seguida, no esmagamento após a extrusão, o alongamento na direção W é feito maior do que o alongamento na direção L desta vez ($W_1 - W_0 > L_1 - L_0$), através do qual o ímã de terras-raras C (espessura t_1) fabricado tem características magnéticas semelhantes entre a direção L e a direção W, e assim a anisotropia pode ser removida na face definida com o eixo de direção L e o eixo com direção W. Como resultado, a anisotro-

pia na direção de magnetização fácil (direção do eixo-C) que é ortogonal à face definida com o eixo de direção L e o eixo com direção W pode ser aumentada, e assim remanência Br do ímã de terras-raras pode ser melhorada.

[0090] Para este fim, as dimensões de um molde para colocar o corpo intermediário de ímã de terras-raras S" nele são ajustadas, e o corpo intermediário de ímã de terras-raras S" é colocado no tal molde para forjamento, e o alongamento na direção L e alongamento na direção W durante o esmagamento é ajustado de modo que um índice da anisotropia no plano: $Br(W)/Br(L)$ torna-se 1,2 ou menos, onde Br (W) denota a remanência na direção W do ímã terras-raras C após esmagamento, e Br(L) denota tal remanência na direção L.

[0091] Sabe-se que a proporção de alongamento na direção W e alongamento na direção L durante o esmagamento para se obter o índice de anisotropia no plano: $Br(W)/Br(L)$ de 1,2 ou menos, isto é, a proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L está na faixa de aproximadamente 1 a 2,5. Então, as dimensões de um molde a ser utilizado para o esmagamento são ajustadas de modo a serem obtidas tais proporções de alongamento de ambas, e utilizando tal molde com as dimensões ajustadas, o corpo intermediário de ímã de terras-raras S" é forjado, de acordo com o qual o alongamento na direção W e alongamento na direção L pode ser controlado com precisão.

[0092] Conforme outro método para obter o índice de anisotropia no plano: $Br(W)/Br(L)$ de 1,2 ou menos ou a proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L que está na faixa de aproximadamente 1 a 2,5, as dimensões de um plano definido com o eixo com direção L e o eixo com direção W do corpo intermediário do ímã de terras-raras em forma de folha preparado por extrusão podem ser ajustadas de antemão.

[0093] Quando um corpo intermediário de ímã de terras-raras que tem um retângulo na vista em planta é esmagado por prensagem com perfuradores ou similares verticalmente sem ser limitado nas suas faces laterais, o alongamento do corpo intermediário ao longo dos lados curtos é maior do que o alongamento ao longo dos lados longos devido ao atrito gerado entre as faces superior e inferior do corpo intermediário de ímã de terras-raras e os perfuradores superior e inferior. Este método utiliza essa diferença no alongamento entre os lados longos e os lados curtos, e os comprimentos na direção L e na direção W do corpo intermediário do ímã de terras-raras em forma de folha preparado por extrusão são ajustados de modo que a proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L passa a estar na faixa de 1 a 2,5 durante o esmagamento, de modo que o esmagamento é realizado no corpo intermediário do ímã de terras-raras com as dimensões assim ajustadas.

Experimento para confirmar o efeito da extrusão e esmagamento, e resultado do mesmo

[0094] Os presentes inventores realizaram um experimento para confirmar a melhora na remanência de um ímã de terras-raras como um todo através da combinação de extrusão e esmagamento.

Primeiro método para a fabricação do corpo de prova

[0095] Uma quantidade predeterminada de matérias-primas de liga de terras-raras (a composição da liga foi Fe-30Nd-0,93B-4Co-0,4Ga em termos de %) foi misturada, a qual foi depois fundida em uma atmosfera de Ar, seguido pela injeção do líquido derretido da mesma a partir de um orifício de $\phi 0,8\text{mm}$ em um a um rolo giratório feito de Cu com chapeamento de Cr aplicado ao mesmo para dissipação de calor, preparando assim peças finas da liga. Estas peças finas de liga foram moídas e peneiradas com um moinho de corte em uma atmosfera de Ar, em que o pó de liga de terras-raras igual ou inferior a 0,2 milíme-

tros foi obtido. Em seguida, este pó de liga de terras-raras foi colocado num molde de carboneto de um tamanho de 20×20×40 mm, que foi selado com punções de carboneto verticalmente. Em seguida, este foi colocado em uma câmara, e uma pressão no interior da câmara foi reduzida de 10-2 Pa. Então uma carga de 400 MPa foi aplicada ao mesmo enquanto se aquecia a 650° C por uma bobina de alta frequência para a prensagem. O estado após esta prensagem foi mantido por 60 segundos, e um compacto (a granel) foi retirado do molde para ser um compacto para processamento de deformação a quente.

[0096] Em seguida, o compacto foi colocado em um molde ilustrado na Figura 3, e o molde foi aquecido pela bobina de alta frequência de modo que a temperatura do compacto aumentou para aproximadamente de 800° C pelo calor transferido do molde, para o qual a extrusão foi realizada a uma taxa de batida de 25 mm/seg. (taxa de deformação de aproximadamente 1 / seg.) e com o índice de processamento de 70%. Depois disso, um corpo intermediário preparado foi retirado do molde, e o corpo intermediário como uma parte em forma de folha foi cortado somente como ilustrado na Figura 4. Tal corpo intermediário em forma de folha cortado foi colocado no molde (bigorna) como ilustrado na Figura 4b, e a bigorna foi aquecida de forma semelhante pela bobina de alta frequência de modo que o corpo intermediário foi aquecido a 800° C pelo calor transferido do molde, para o que foi realizado o esmagamento a uma taxa de batida de 4 mm / seg. (taxa de deformação de aproximadamente 1 / seg.) e com o índice de processamento de 25%. Deste modo, foi obtido um corpo de ensaio de um ímã de terras-raras.

[0097] A Figura 8 ilustra um resultado da experiência na taxa de melhoria de remanência em cada uma das partes de um ímã de terras-raras preparado por extrusão com o índice de processamento de 70%. A Figura 9 ilustra um resultado da experiência na taxa de melhoria de

remanência em cada uma das partes de um ímã de terras-raras preparado por esmagamento com o índice de processamento de 25%. Então a Figura 10 ilustra um resultado da experiência na taxa de melhoria de remanência em cada uma das partes de um ímã de terras-raras preparado por extrusão com o índice de processamento de 70% e por esmagamento com o índice de processamento de 25%.

[0098] A Figura 8 mostra que o produto processado por extrusão tinha remanência no seu centro que foi inferior em aproximadamente 10% à remanência na superfície. Isso se compara com a Figura 9 que mostra que o produto processado por esmagamento tinha remanência no seu centro que foi bastante mais alta em aproximadamente 10% à remanência na superfície. Em seguida, a Figura 10 mostra que o produto processado por estes extrusão e esmagamento tinha o mesmo grau de remanência na superfície e no centro, demonstrando que a remanência em uma parte perto do centro, que tinha baixa remanência após a extrusão foi melhorada pelo esmagamento, e assim o produto como um todo, tinha o mesmo grau de alta remanência.

Experimento para especificar a faixa ideal do índice de processamento para extrusão e esmagamento, e o resultado do mesmo

[0099] Os presentes inventores realizaram ainda um experimento para especificar a faixa ideal dos índices de processamento para a extrusão e esmagamento. Neste experimento, os corpos de prova foram preparados ao alterar os índices de processamento para cada um; extrusão e esmagamento, e as características magnéticas (remanência e força coercitiva) dos corpos de prova foram medidas. A Tabela 1 mostra os índices de processamento para extrusão e esmagamento e os resultados das características magnéticas dos corpos de prova. A Figura 11 é um gráfico que representa os casos de extrusão apenas com base na Tabela 1 e a Figura 12 é um gráfico que representa a totalidade dos resultados da Tabela 1.

Tabela 1

No.	Extrusão			Esmagamento			Características magnéticas			
	Índice de Processamento (%)	temp. (°C)	Taxa de tensão (/seg)	Índice de processamento	temp. (°C)	Taxa de tensão (/seg)	Remanência (T)	Força coercitiva (kOe)		
1	70	800	1	15	800	1	1,32	13,51		
2				25			1,35	13,44		
3				30			1,35	12,67		
4	60			0	-	1,28	14,68			
5				0		1,24	14,54			
6	60			10	800	1	1,28	14,51		
7				20			1,32	13,19		
8				30			1,33	13,62		
9				40			1,31	13,70		
10	50			0	-	-	1,16	13,44		
11				40			,29	12,07		
12				50			800	1	1,34	13,50
13	80			0	-	-	1,27	15,00		
14				20			800	1	1,33	13,41
15				30					1,32	13,56
16	90			0	-	-	1,21	13,20		

Nota: Para a conversão da unidade de força coercitiva kOe para o Sistema Internacional de Unidades (SI) (kA/m), a força coercitiva foi calculada pela multiplicação por 79,6.

[00100] Como mostrado na Tabela 1 e a Figura 11, quando o índice de processamento de extrusão estava na faixa inferior a 50%, a remanência no momento da extrusão foi baixa, e por isso a quantidade de

processamento durante esmagamento aumentou. Como resultado, o imã de terras-raras fabricado gerou rachaduras na periferia. Quando o índice de processamento de extrusão estava na faixa superior a 80% (área II na Figura 11), tensões no momento da extrusão foram grandes demais, e assim ocorreram rachaduras na estrutura cristalina. Como resultado, o imã de terras-raras fabricado tinha baixa remanência.

[00101] Por outro lado, quando o índice de processamento da extrusão estava na faixa de 50% a 80% (área I na Figura 11), o imã de terras-raras fabricado teve a maior remanência. Tal imã de terras-raras, no entanto, tinha uma baixa quantidade de tensões na parte central, o que significa que o imã de terras-raras como um todo não tinha alta remanência apenas por tal extrusão. Nisto, embora a remanência com o índice de processamento de 50% durante a extrusão fosse menor do que aquele com o índice de processamento de 90%, tal remanência pode ser aumentada através da realização do esmagamento posteriormente. Quando o índice de processamento de extrusão foi de 90%, ocorreram rachaduras, e por isso o esmagamento não pode ser executado com isso.

[00102] Em seguida, a extrusão pode ser realizada com o índice de processamento na faixa de 50% a 80%, e, em seguida, o esmagamento pode ser realizado no mesmo. Aqui a Tabela 1 e a Figura 12 mostram que, quando o índice de processamento durante esmagamento estava na faixa inferior a 10% (área II na Figura 12), as tensões não foram dadas ao centro do imã de terras-raras suficientemente, e assim o imã de terras-raras como um todo não tem alta remanência, a qual foi determinada por análise de CAE pelos presentes inventores que foi realizada para avaliar a distribuição de tensões quando esmagamento foi simplesmente realizado para um modelo cilíndrico-colunar (o coeficiente de atrito neste momento foi fixado em 0,3).

[00103] Enquanto isso, na faixa do índice de processamento para

esmagamento que foi maior do que aproximadamente de 50%, rachaduras ocorreram devido a esforços de tensão na periferia do imã de terras-raras, a qual foi determinada por análise de CAE pelos presentes inventores de modo semelhante à área II.

[00104] Deste modo, os resultados das experiências e análises CAE pelos presentes inventores demonstram que extrusão com o índice de processamento na faixa de 50% a 80%, seguido pelo esmagamento com o índice de processamento de 10 a 50% produziram com êxito um imã de terras-raras isento de rachaduras, tendo alta remanência como um todo e tendo excelentes características magnéticas.

Experimento para examinar as características magnéticas ao mudar a proporção de alongamento na direção W e a proporção de alongamento na direção L durante esmagamento, e resultado do mesmo.

[00105] Para a fabricação de um imã de terras-raras, cuja anisotropia na direção de magnetização fácil (direção do eixo C) é melhorada, tendo assim remanência elevada, os presentes inventores têm surgido com a ideia técnica de redução, no momento do esmagamento, uma diferença no alongamento entre a direção de extrusão (direção L) e a direção ortogonal a ela (direção W) que é gerada durante a extrusão, cancelando assim a anisotropia no plano definido com o eixo na direção L e o eixo na direção W do corpo intermediário de ímã de terras-raras preparado pela extrusão, e assim melhorando a anisotropia na direção ortogonal a este plano (direção do eixo C). Em seguida, cinco corpos de teste tendo diferentes proporções de alongamento na direção W e proporções de alongamento na direção L durante esmagamento foram preparados, e a relação entre a proporção de alongamento na direção W / proporção de alongamento na direção L e a proporção de alongamento foi especificada. Então, a relação entre a proporção de alongamento na direção W / proporção de alongamento na direção L e rema-

nência na direção de magnetização fácil: Br foi especificado.

Segundo método para a fabricação do corpo de prova

[00106] Os corpos de prova foram preparados de forma semelhante aos do primeiro método para a fabricação do corpo de prova como indicado acima até a peça em forma de folha do corpo intermediário foi recortada, e então a bigorna foi aquecida pela bobina de alta frequência de tal modo que o corpo intermediário foi aquecido a 800° C pelo calor transferido a partir do molde, para o qual o esmagamento foi realizado na proporção de batida de 4 nm/seg. (taxa de deformação de aproximadamente 1 / seg.) e com o índice de processamento de 30%. Deste modo, um corpo de ensaio de um ímã de terras-raras foi obtido.

[00107] Estes corpos de prova foram controlados para a sua proporção de alongamento na direção W / proporção de alongamento na direção L de um ímã de terras-raras ilustrado na Figura 7. $\{(W1-W0)/W0\}/\{(L1-L0)/L0\}$ para ser cinco níveis 0,4-2,5. A Tabela 2 abaixo mostra as proporções de alongamento na direção W e na direção L e a proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L dos corpos de prova, e similar, e a Figura 13 ilustra a relação entre o alongamento na direção W / o alongamento na direção L e a proporção de alongamento em cada direção.

Tabela 2

Corpo de prova Nº	Taxa de compressão na direção da espessura (%)	Proporção de alongamento na direção W (%)	Proporção de alongamento na direção L (%)	Proporção de estiramento na direção W / Proporção de estiramento na direção L
1	30	13,31	33,66	0,4
2	30	15,35	26,04	0,6
3	30	21,18	20,82	1,0
4	30	26,50	13,90	2,0
5	30	28,49	11,66	2,5

[00108] Em seguida, remanência de cinco corpos de prova (magnetização na direção do eixo-C) foi medida. A Tabela 3 e a Figura 14 mostram o resultado da medição.

Tabela 3

Corpo de prova Nº	W/L	Remanência na direção do eixo C Br(T)	
		Número de medições: 3	
1	0,4	1,342	1,337
		1,327	
		1,342	
2	0,6	1,347	1,345
		1,341	
		1,346	
3	1,0	1,374	1,367
		1,364	
		1,354	
4	2,0	1,372	1,370
		1,369	
		1,370	
5	2,5	1,372	1,375

[00109] A partir da Tabela 1 e Figura 14, pode ser confirmado que a proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L alcançou um ponto de inflexão em 1,0, e na faixa de 1,0 a 2,5, mantiveram valores elevados de remanência. Corpos de teste No. 3 a N ° 5 tiveram alta remanência, que resulta da pequena anisotropia no plano no plano definido com o eixo de direção L e o eixo de direção W (o plano ortogonal à direção do eixo C).

[00110] A partir de um resultado experimental separado descrito mais tarde, verificou-se que quando a proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L excedem 2,5, em seguida, o índice de anisotropia no plano excede 1,20, que se desvia da faixa especificada de 1,20 ou menos, e, por conseguinte, a faixa da proporção de alongamento na direção W / da proporção de alongamento

gamento na direção L que é 1,0 a 2,5 é uma faixa preferível.

Experimentos para especificar a relação entre o índice de anisotropia no plano e remanência e a relação entre a proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L e o índice da anisotropia no plano, e o resultado dos mesmos.

[00111] Os presentes inventores prepararam um muitos corpos de prova para especificar a relação entre o índice de anisotropia no plano e remanência de ímãs de terras-raras (densidade de fluxo residual na direção do eixo C). Aqui o índice de anisotropia no plano é um índice representado com a relação entre a remanência $Br(W)$ na direção W de um ímã de terras-raras após o esmagamento e a remanência $Br(L)$ na direção L do mesmo, isto é, $Br(W)/Br(L)$. A Figura 15 ilustra o resultado do experimento.

[00112] A partir da Figura 15, foi confirmado que a remanência alcançou um ponto de inflexão quando o índice de anisotropia no plano foi de 1,2, e na faixa de 1,2 ou menos, foi obtida alta remanência em torno 1,37T. Com base nesse resultado experimental, o alongamento na direção L e alongamento na direção W durante o esmagamento podem ser ajustados de modo que o índice de anisotropia no plano $Br(W)/Br(L)$ que é representado com a relação de entre a remanência $Br(W)$ na direção W de um ímã de terras-raras após esmagamento e a remanência $Br(L)$ na direção dos mesmos torna-se 1,2 L ou menos.

[00113] Em seguida, a relação entre a proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L e o índice de anisotropia no plano foi examinado também. A Figura 16 ilustra o resultado do experimento.

[00114] A Figura 16 mostra que a faixa do gráfico relativa à proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L para o índice de anisotropia no plano, na qual o índice de

anisotropia no plano foi de 1,2 ou menos, concorda substancialmente com a faixa da proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L conforme declarado acima que é 1,0 a 2,5. Então, espera-se que, na faixa da proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L excedendo 2,5 o índice de anisotropia no plano excederá 1,2. Com base neste resultado, o alongamento na direção L e alongamento na direção W durante o esmagamento pode ser ajustado de modo que o índice de anisotropia no plano: $Br(W)/Br(L)$ se torne 1,2 ou menos, ou a proporção entre o alongamento na direção L e alongamento na direção W durante o esmagamento: a proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L fica na faixa de 1 a 2,5.

Observação de estruturas de corpos de prova tendo diferentes índices de anisotropia no plano e resultado da mesma.

[00115] Os presentes inventores então especificaram os índices de anisotropia no plano dos corpos de prova apresentados nas Tabelas 2 e 3. A Tabela 4 abaixo mostra o resultado. Então o corpo de prova N° 1 tendo o índice de anisotropia no plano superando 1,2 e o corpo de prova N° 4 tendo esse 1,2 ou menos tiveram as suas estruturas observadas. As Figuras 17 e 18 ilustram as suas imagens SEM.

Tabela 4

Corpo de prova N°	W/L	Remanência na Direção do eixo C Br(T) Número de medições: 3		Remanência na direção W Br(T)	Remanência na direção L Br(T)	Proporção de alongamento na direção W (%)	Proporção de alongamento na direção L (%)	Índice de anisotropia no plano
1	0,4	1,342	1,337	0,420	0,308	13,31	33,66	1,36
		1,327						
		1,342						
2	0,6	1,347	1,345	0,408	0,312	15,35	26,04	1,31
		1,341						
		1,346						

3	1,0	1,374	1,367	0,314	0,356	21,18	20,82	1,13
		1,364						
		1,354						
4	2,0	1,372	1,370	0,320	0,342	26,50	13,90	1,07
		1,369						
		1,370						
5	2,5	1,372	1,375	0,355	0,293	28,49	11,66	1,21
		1,375						
		1,379						

[00116] Como na imagem SEM da Figura 17, o corpo de prova N° 1 tendo o índice de anisotropia no plano superando 1,2 tinha um bom estado de orientação na direção L, mas, tinha um estado orientação deficiente na direção W, resultando em que o valor de remanência na direção do eixo C foi tão baixa quanto 1,337.

[00117] Por outro lado, tal como na imagem SEM da Figura 18, o corpo prova No. 4 tendo o índice de anisotropia no plano de 1,2 ou menos tinha o mesmo grau de estado de orientação na direção L e na direção W, resultando em que o valor de remanência na direção do eixo C foi tão alta quanto 1,370.

[00118] Estes resultados da observação mostram que, quando o índice de anisotropia no plano é baixo de 1,2 ou menos, e o estado de orientação está no mesmo grau entre os dois eixos no plano, um imã de terras-raras fabricado pode ter alta remanência na direção C do eixo de aproximadamente 1,37.

[00119] Embora as concretizações da presente invenção tenham sido descritas em detalhe com referência aos desenhos, a configuração específica não está limitada a estas concretizações e o projeto pode ser modificado sem se afastar do objeto da presente invenção, que se insere dentro da presente invenção.

Lista de Sinais de Referência

- R Cilindro de cobre
- B Fita de solidificação rápida (fita esfriada rapidamente)

D	Molde de carboneto
P	Punção de carboneto
PD	Punção de extrusão (bigorna)
PDa	Cavidade em forma de folha
Da	Molde
Co	Bobina de lata frequência
PM	Punção (bigorna)
S	Compacto
S'	Compacto em estado aquecido
S''	Corpo intermediário de ímã de terras-raras
C	Ímã de terras-raras (ímã de orientação)
RM	Ímã de terras-raras
MP	Fase principal (grãos nano-cristalinos, grãos cristalinos, cristais).
BP	Fase do contorno de grão

REIVINDICAÇÕES

1. Método para fabricar um ímã de terras-raras compreendendo:

uma primeira etapa de formação de pó por prensagem como um material magnético de terras-raras para formar um compacto (S), o pó incluindo uma fase principal RE-Fe-B (MP), sendo RE pelo menos um tipo de Nd e Pr, e uma fase de contorno de grão de uma liga de RE-X, sendo X um elemento metálico, em torno da fase principal; e

uma segunda etapa de execução de processamento de deformação a quente para o compacto (S) para dar anisotropia magnética ao compacto, fabricando, desse modo, o ímã de terras-raras (C),

caracterizado pelo fato de que

o processamento de deformação a quente na segunda etapa inclui duas etapas que são, realizar a extrusão para preparar um corpo intermediário de ímã de terras-raras e realizar o esmagamento para o corpo intermediário de ímã de terras-raras (S'') para fabricar o ímã de terras-raras,

a extrusão é para colocar um compacto (S) em um molde (Da), e aplicar pressão ao compacto (S') com um punção de extrusão (PD) de modo a reduzir uma espessura do compacto (S') por extrusão para preparar o corpo intermediário de ímã de terras-raras (S'') tendo uma forma de folha, e

o esmagamento é para aplicar pressão ao corpo intermediário do ímã de terras-raras em forma de folha na direção da espessura para reduzir a espessura, fabricando, desse modo, o ímã de terras-raras (C).

2. Método para fabricar um ímã de terras-raras, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** uma relação

de processamento na extrusão é de 50 a 80% e um índice de processamento no esmagamento é de 10 a 50%.

3. Método para fabricar um ímã de terras-raras, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado pelo fato de que** para o corpo intermediário do ímã de terras-raras (S'') em forma de folha preparado pela extrusão, uma direção para a extrusão é a direção L, uma direção ortogonal à direção para a extrusão é a direção W, e uma direção que é ortogonal a um plano definido por um eixo na direção L e um eixo na direção W e que está na direção da espessura do corpo intermediário do ímã de terras-raras (S'') em forma de folha está em uma direção do eixo C que é uma direção de magnetização fácil;

o alongamento na direção L e o alongamento na direção W durante o esmagamento são ajustados de modo que um índice da anisotropia no plano $Br(W)/Br(L)$ torna-se igual ou inferior a 1,2, sendo que o índice de anisotropia no plano $Br(W) / Br(L)$ é representado por uma proporção entre remanência $Br(W)$ na direção W e remanência $Br(L)$ na direção L do ímã de terras-raras após o esmagamento.

4. Método para fabricar um ímã de terras-raras, de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado pelo fato de que** o alongamento na direção L e o alongamento na direção W são ajustados de modo que uma proporção entre uma proporção de alongamento na direção W e uma proporção de alongamento na direção L, durante o esmagamento seja a proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L que varia de 1 a 2,5.

5. Método para fabricar um ímã de terras-raras, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado pelo fato de que** um molde (Da) para o esmagamento tem dimensões ajustadas de modo que a proporção entre a proporção de alongamento na direção W e a proporção de alongamento na direção L durante o esmagamento seja a proporção de alongamento na direção W / a proporção de

alongamento na direção L que varia de 1 a 2,5, sendo que o corpo intermediário de ímã de terras-raras (S") é colocado no dito molde (Da) para o esmagamento.

6. Método para fabricar um ímã de terras-raras, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado pelo fato de que** as dimensões de um plano definido com o eixo na direção L e o eixo na direção W do corpo intermediário de ímã de terras-raras (S") preparado pela extrusão são ajustadas para o esmagamento de forma que a proporção entre a proporção de alongamento na direção W e a proporção de alongamento na direção L durante o esmagamento seja a proporção de alongamento na direção W / a proporção de alongamento na direção L que varia de 1 a 2,5.

FIG. 1

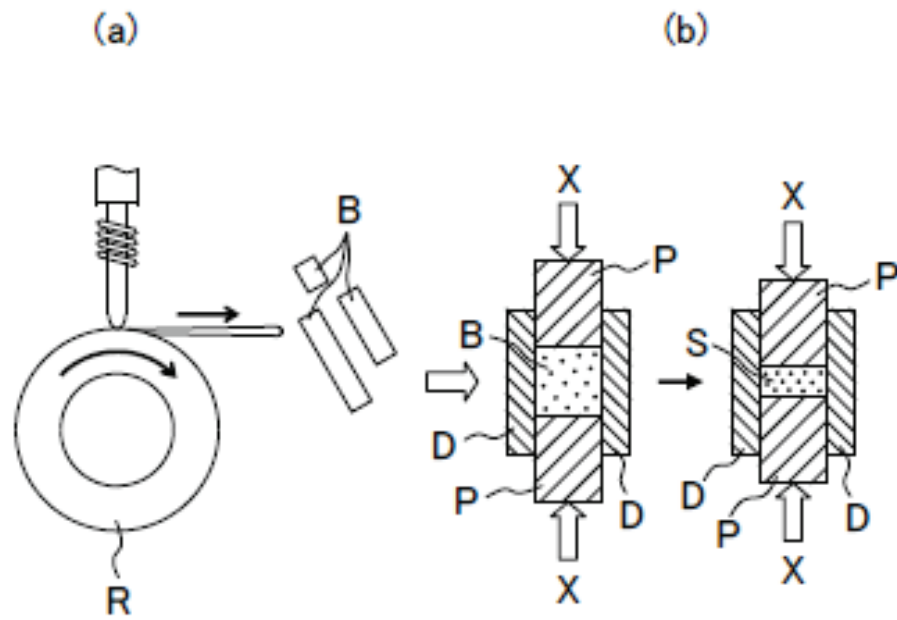


FIG. 2

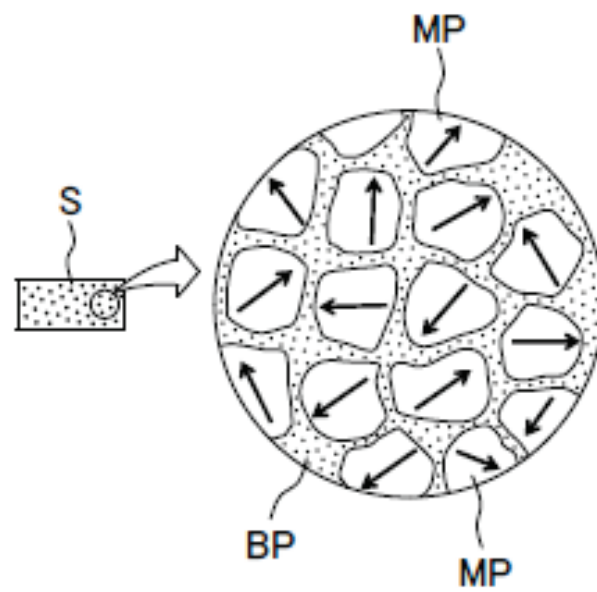
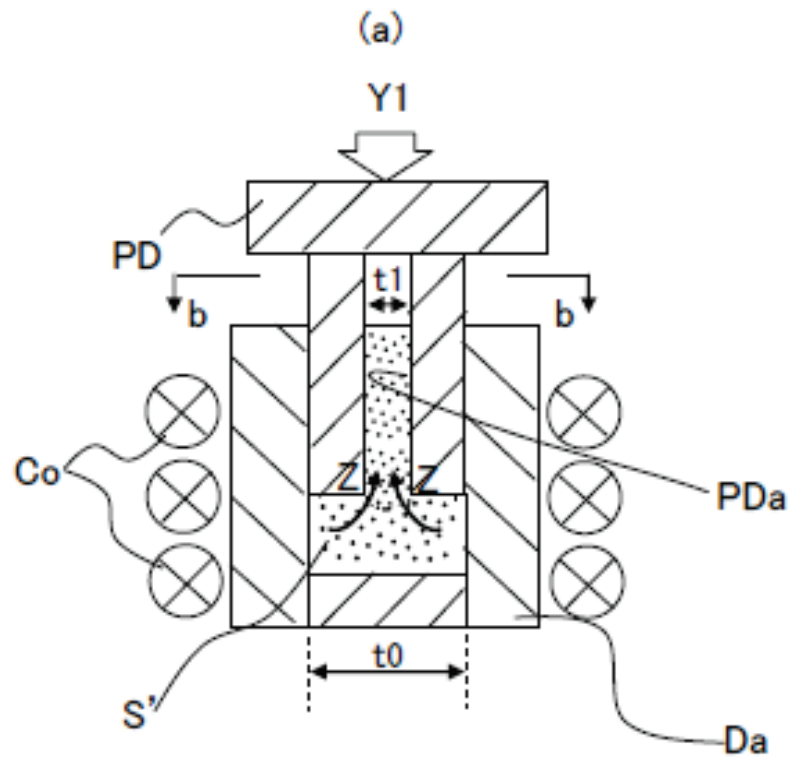


FIG. 3



(b)

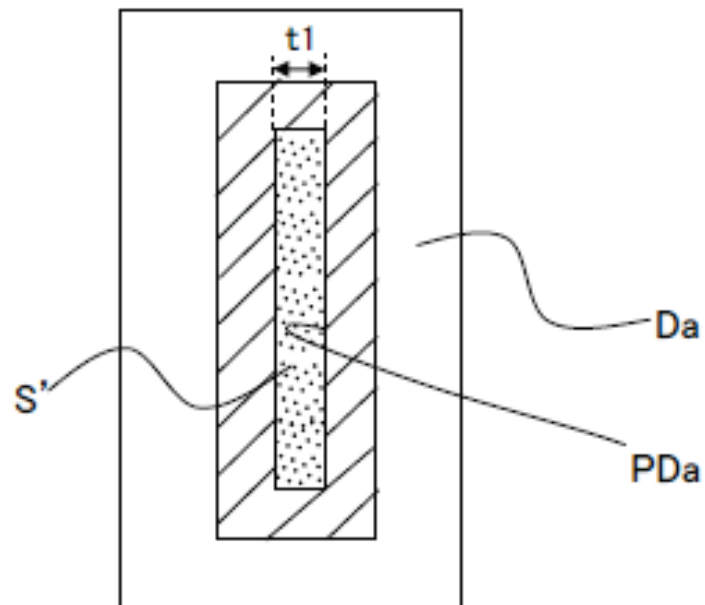


FIG. 4

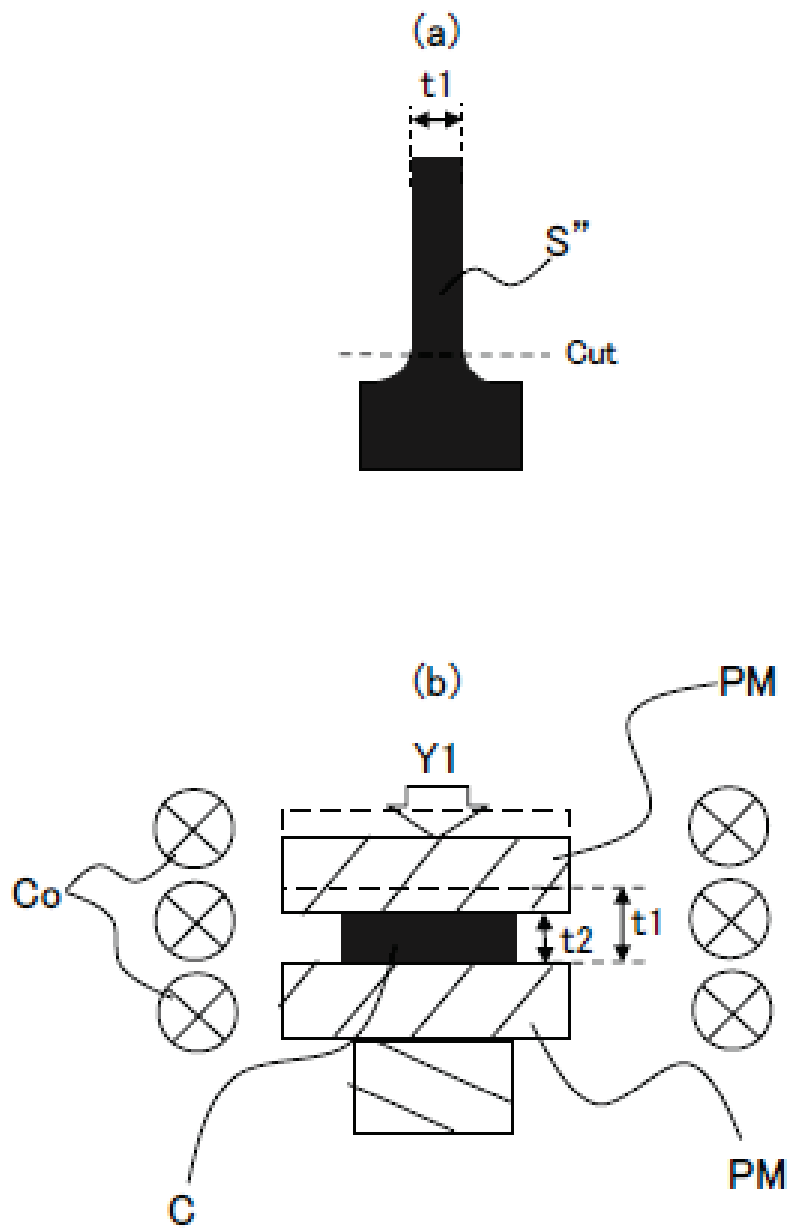


FIG. 5


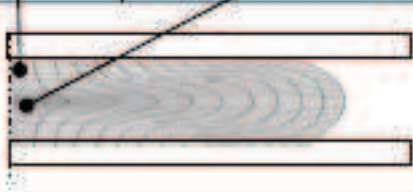
	Extrusão		Esmagamento	
Distribuição de deformação na direção da espessura	Centro: Área de baixa tensão	Superfície: Área de alta tensão	Superfície: Área de alta tensão	Centro: Área de baixa tensão → Área de alta tensão
				

FIG. 6

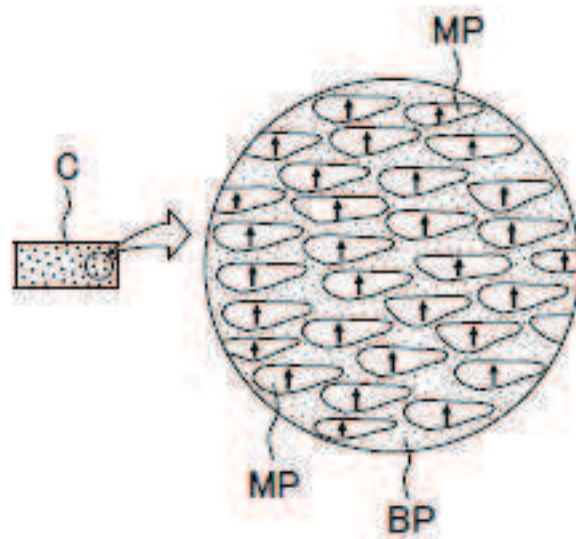


FIG. 7

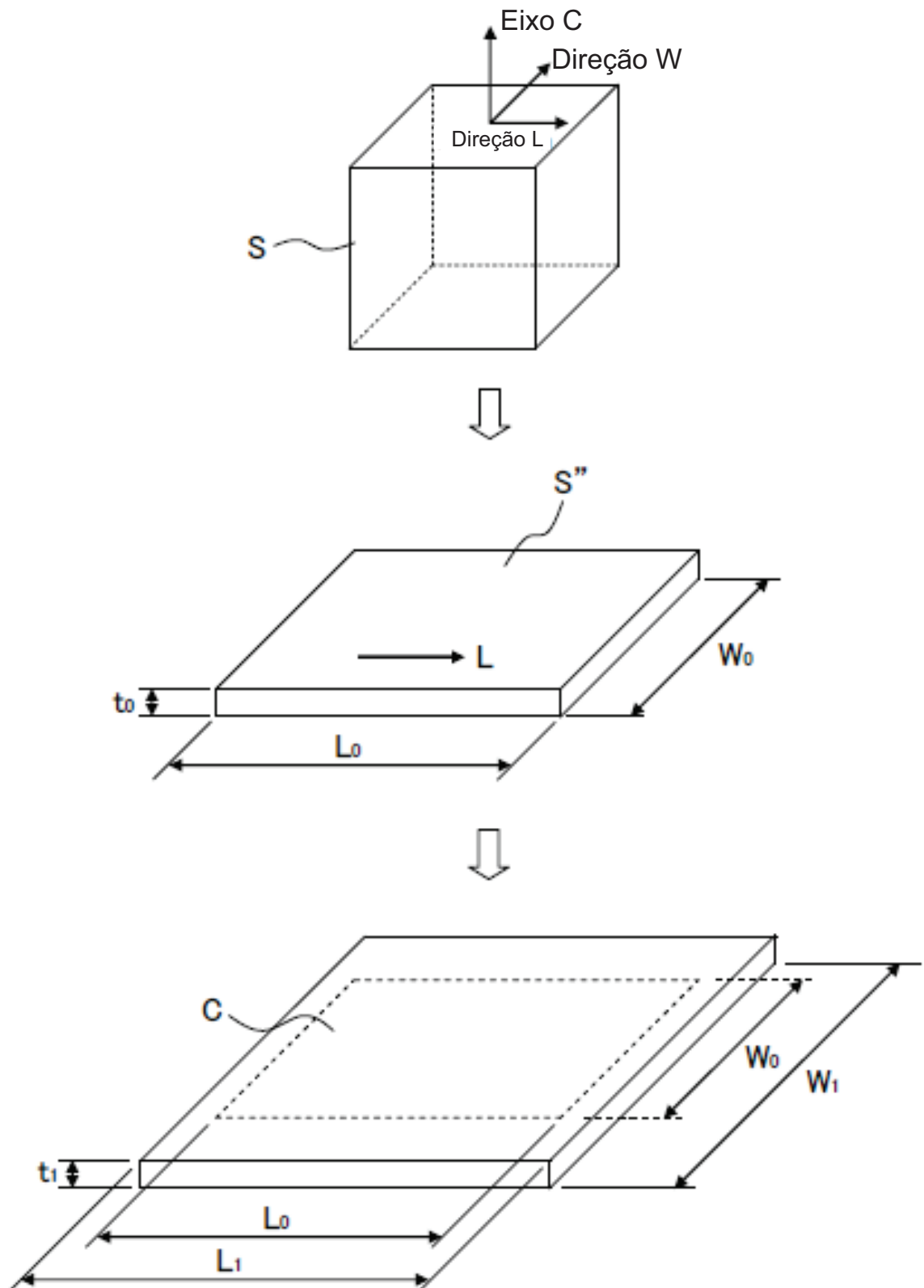


FIG. 8

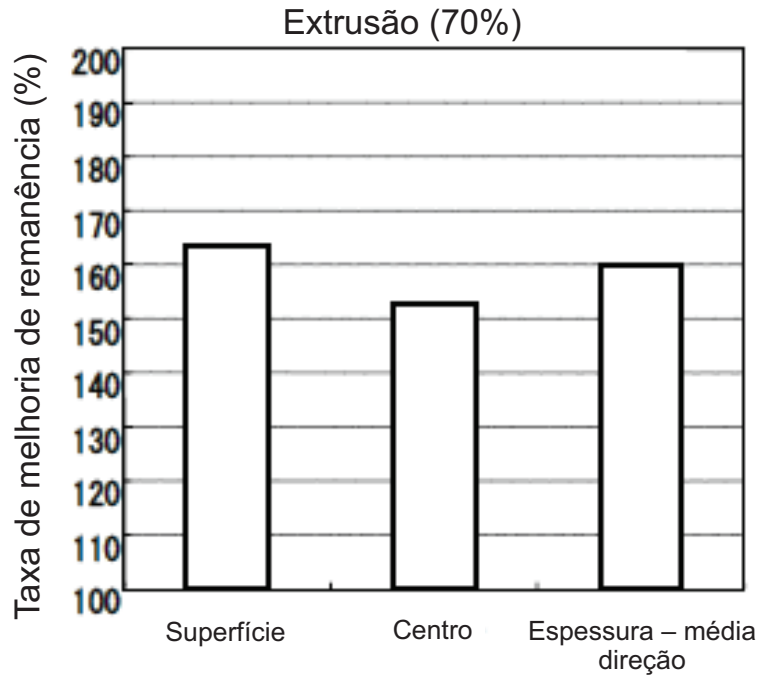


FIG. 9

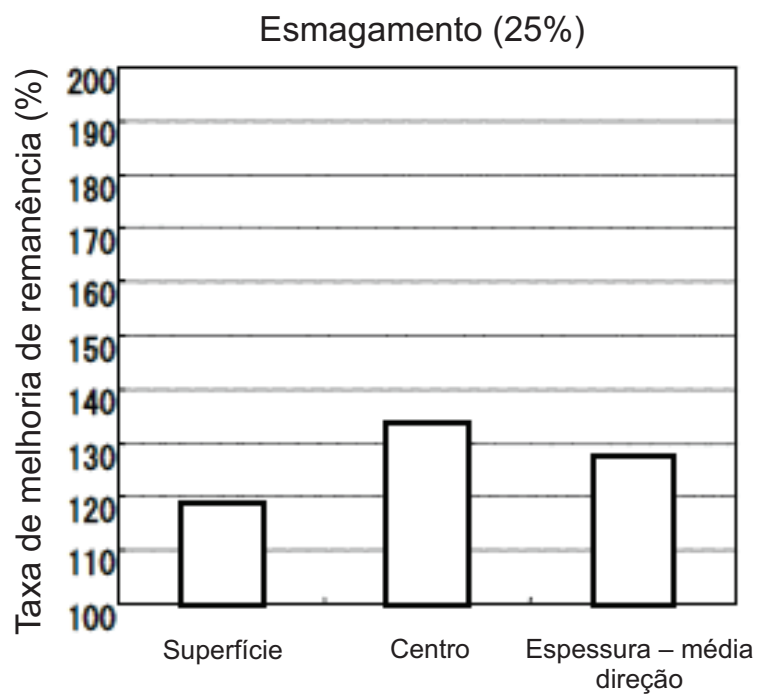


FIG. 10

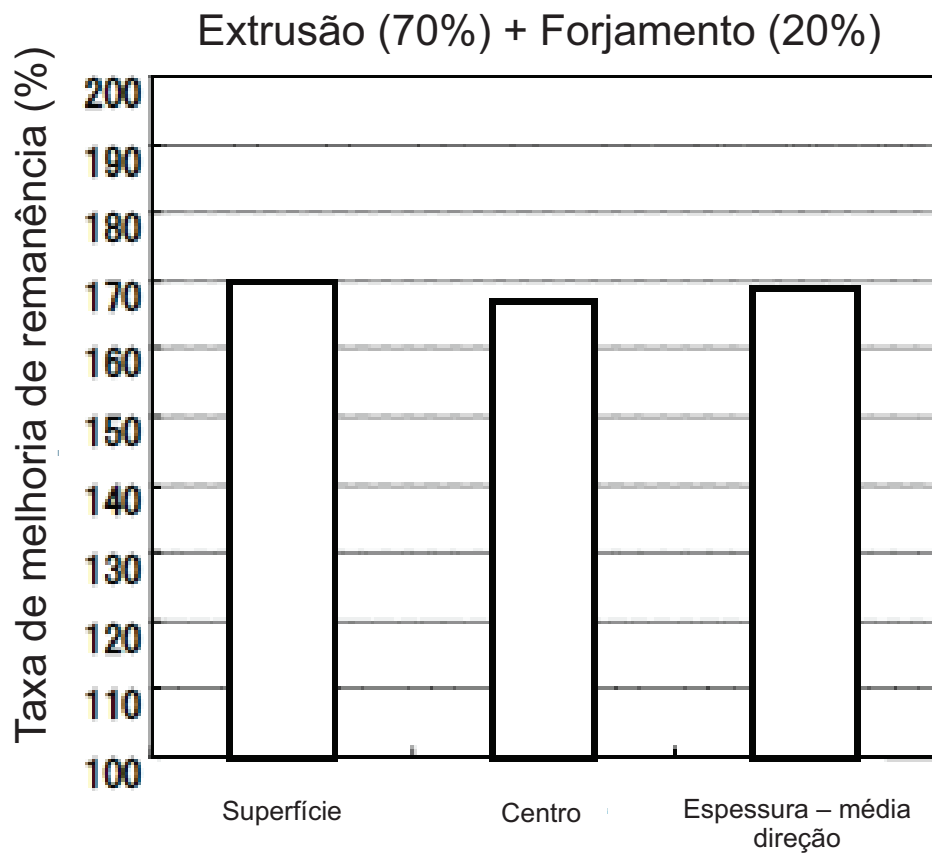


FIG. 11

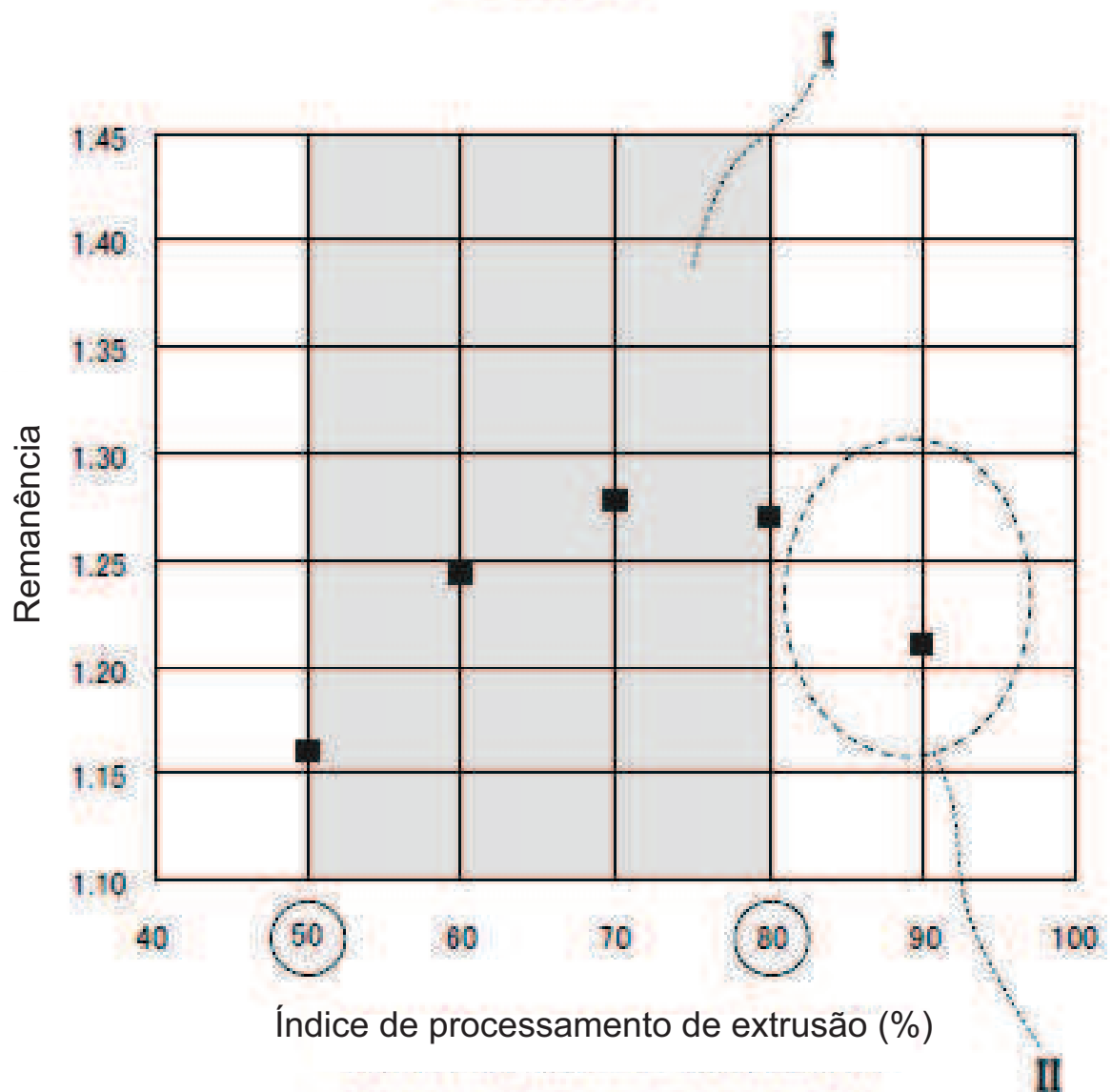


FIG. 12

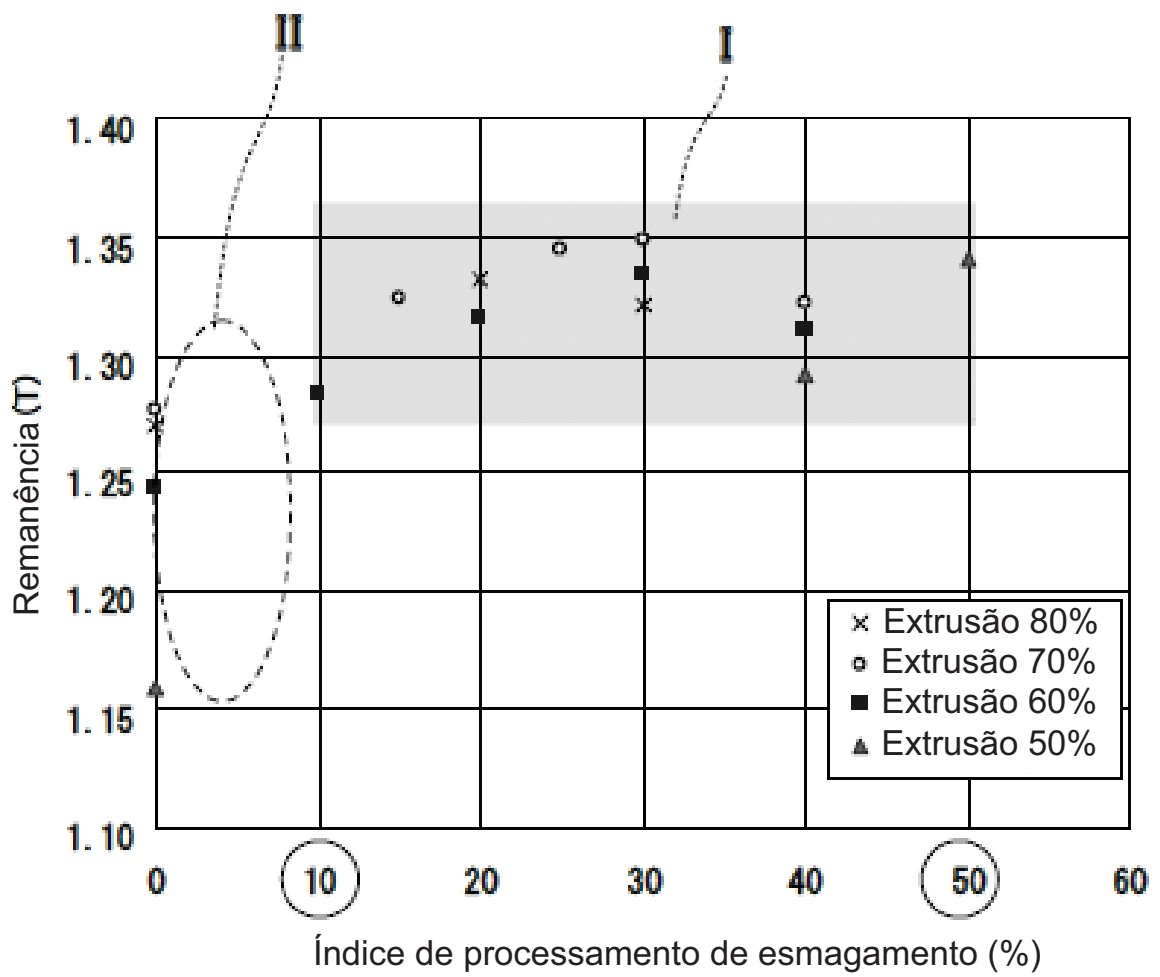
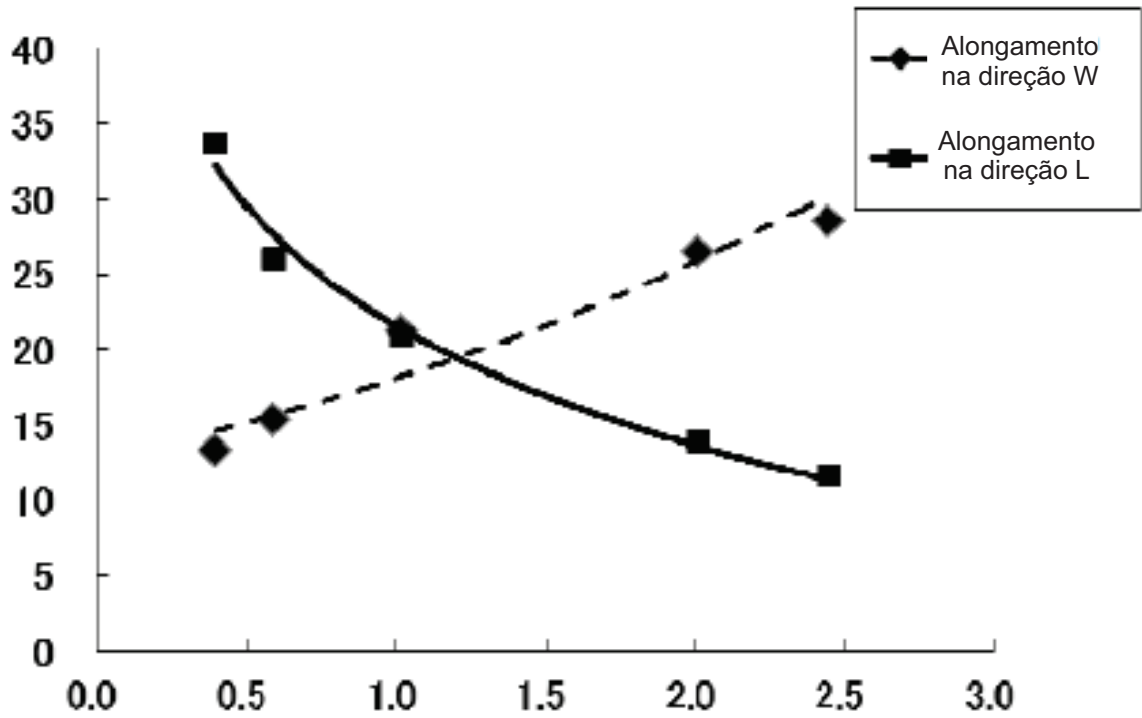
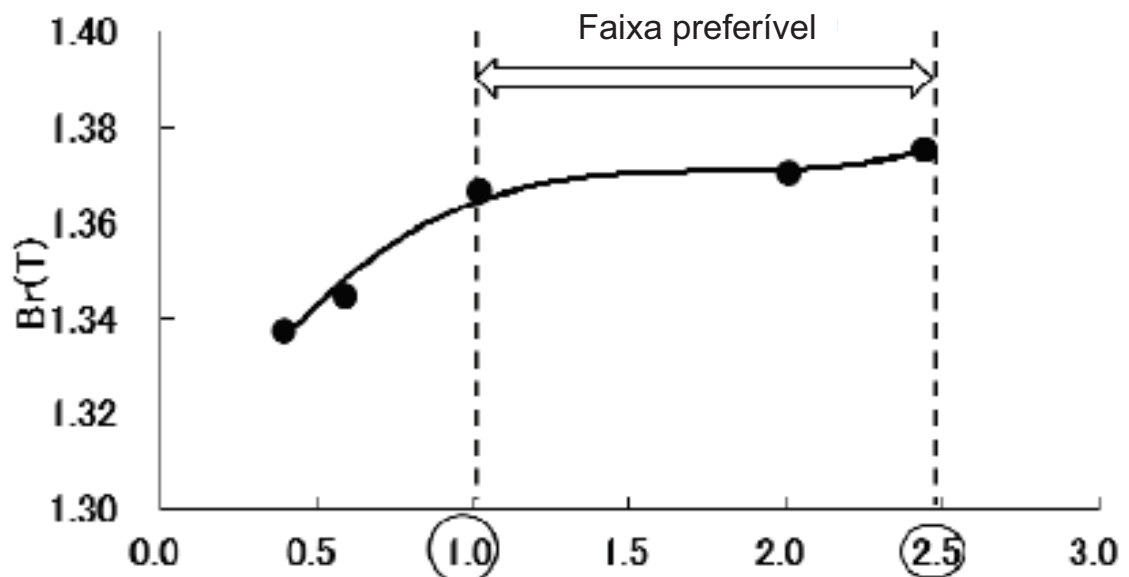


FIG. 13



Proporção de alongamento na direção W / proporção de alongamento na direção L

FIG. 14



Proporção de alongamento na direção W / proporção de alongamento na direção L

FIG. 15

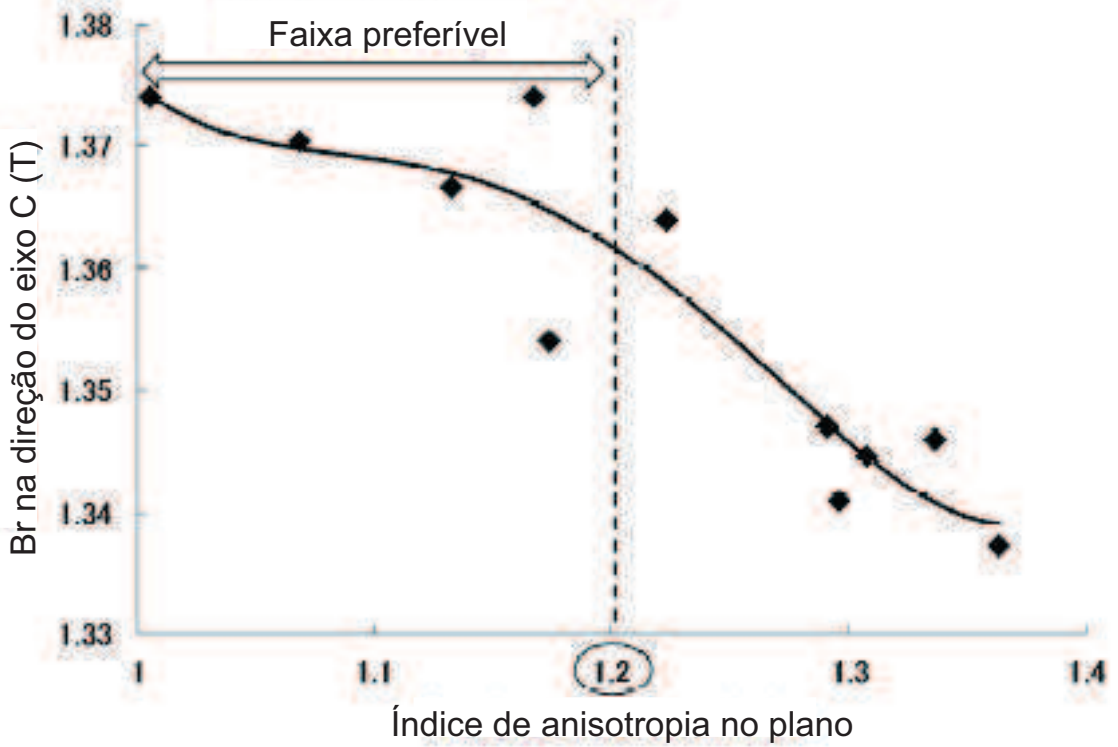


FIG. 16

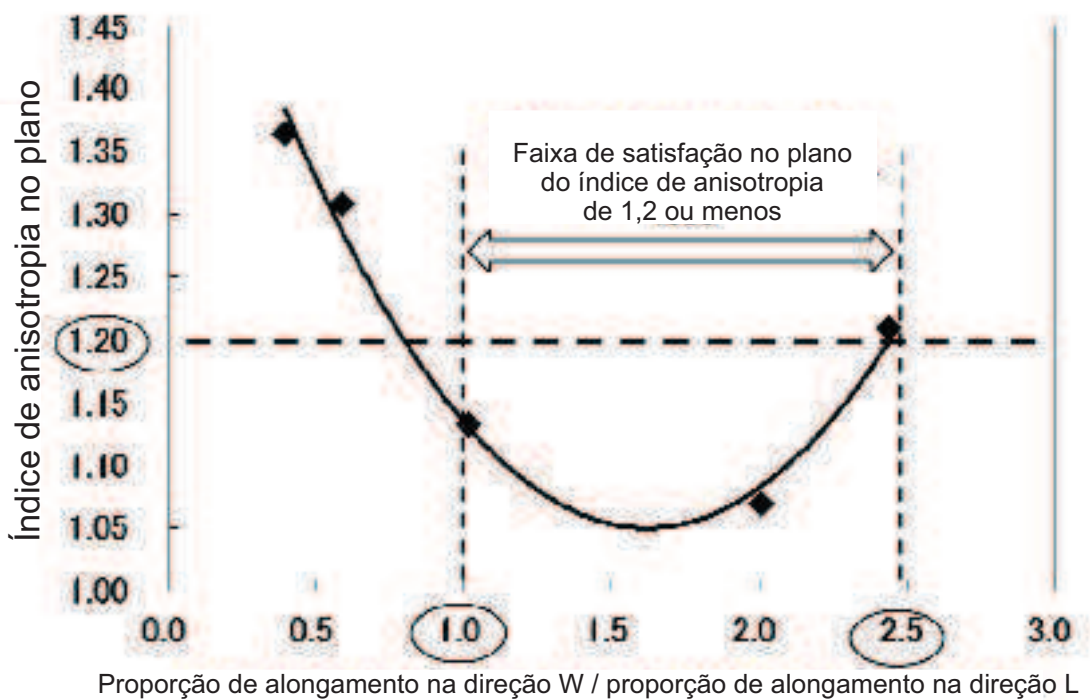


FIG. 17

(Anisotropia no plano: 1,36)
(Quando diferença entre a direção de alongamento L e a direção de alongamento W é grande)

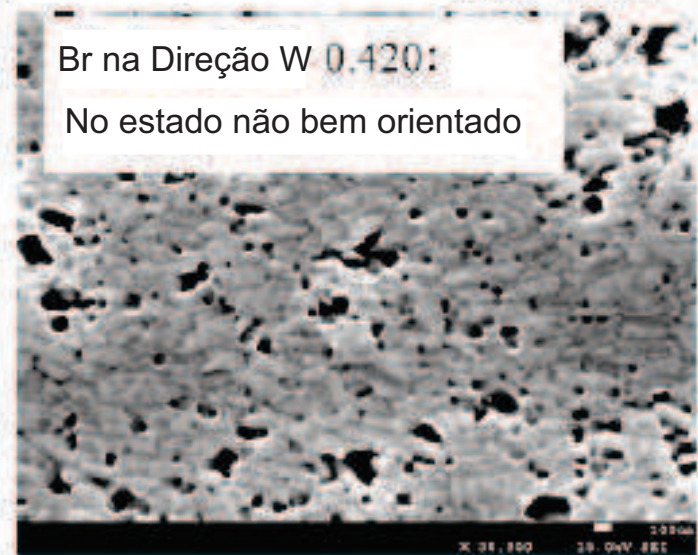
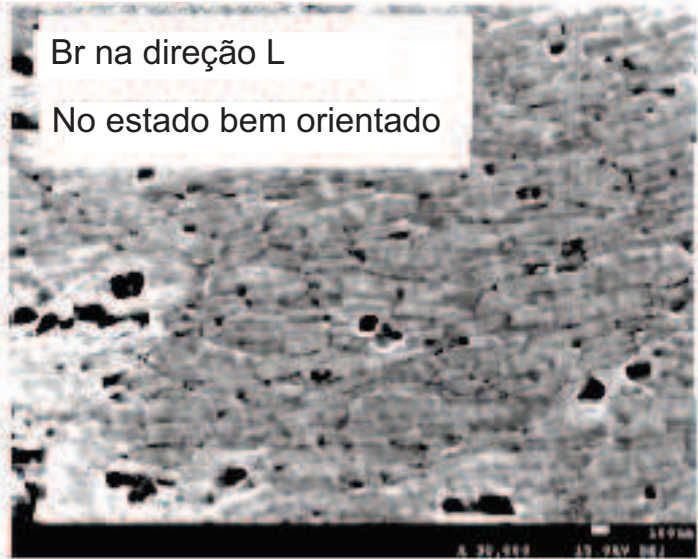


FIG. 18

(Anisotropia no plano: 1,07)

(Quando diferença entre a direção de alongamento L e a direção de alongamento W é pequena)

