



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

(11) PI 0921915-3 B1

(22) Data do Depósito: 11/11/2009

(45) Data de Concessão: 30/01/2018



* B R P I 0 9 2 1 9 1 5 B 1 *

(54) Título: CORPO DE METAL DURO E MÉTODO DE PRODUÇÃO DO MESMO

(51) Int.Cl.: B22F 7/06; C22C 29/08; C22C 1/05

(30) Prioridade Unionista: 11/11/2008 EP 08168848.3

(73) Titular(es): SANDVIK INTELLECTUAL PROPERTY AB

(72) Inventor(es): ARVANITIDIS, IOANNIS

"CORPO DE METAL DURO E MÉTODO DE PRODUÇÃO DO MESMO"

A presente invenção se refere a um corpo de metal duro e a um método para sua preparação. A invenção também se refere ao uso do corpo de metal duro em ferramentas.

Introdução

Nos metais duros, quando ocorre um aumento no teor de aglutinante, tipicamente, se obtém um aumento na tenacidade, porém, se obtém uma diminuição na dureza e resistência ao desgaste. Além disso, o tamanho de grão do carbeto de tungstênio, geralmente, influencia as propriedades de que um tamanho de grão mais fino proporciona um material mais duro e mais resistente ao desgaste, do que comparado a um tamanho de grão mais grosso, porém, proporciona um material de menor resistência ao impacto.

Nas aplicações de materiais de metal duro em ferramentas de corte e perfuração, é desejada uma combinação de diferentes propriedades, a fim de maximizar a eficiência, durabilidade e vida da ferramenta. Podem também existir diferentes exigências quanto ao material, nas diferentes partes de um produto feito do material. Assim, por exemplo, nas pastilhas para perfuração de rochas e cortes de minerais, pode ser desejado um material tenaz no seu interior, a fim de minimizar o risco de fratura da pastilha, ao mesmo tempo em que pode ser desejado um material duro na zona de superfície, a fim de obter suficiente resistência ao desgaste.

Uma pastilha de metal duro para ferramentas de mineração é geralmente consumida até a metade de sua altura ou peso durante o seu uso. A pastilha é submetida a cargas de impacto, cuja deformação endurece gradualmente a fase aglutinante, na medida em que a pastilha se desgasta, desse

modo, aumentando a tenacidade. Geralmente, nas aplicações de perfuração de rochas e corte de minerais, o inicial endurecimento da deformação da fase aglutinante na zona de superfície de uma pastilha de metal duro ocorre durante a
5 primeira parte, usualmente, os primeiros 1-5% da duração de vida da broca. Isso aumenta a tenacidade na zona de superfície superior. Antes desse endurecimento inicial da deformação, durante o estágio bem inicial da operação, existe um risco de danos de impacto para a pastilha devido
10 a uma tenacidade demasiadamente baixa. Portanto, seria desejável minimizar o risco desse tipo de dano precoce, mediante provisão de um material que é resistente ao impacto na superfície e na parte de material mais próxima da superfície, durante, pelo menos, o estágio inicial da
15 operação, sem descuidar das exigências gerais de suficiente tenacidade interna, dureza da zona superficial e resistência ao desgaste.

As pastilhas de metal duro para uso em operações de usinagem de metal, incluindo cargas de severas
20 descontinuidades, como, por exemplo, em operações intermitentes ou operações percussivas, são submetidas a altas cargas de impacto, que aumentam o risco de danos. Também, nesse caso, seria desejável a provisão de um material que seja resistente ao impacto na superfície e na
25 parte de material mais próxima da superfície, sem descuidar das ditas exigências gerais de tenacidade interna, dureza e resistência ao desgaste.

O documento de patente WO 2005/056854 A1 divulga uma pastilha de metal duro para perfuração de rocha e corte
30 de mineral. A porção de superfície da pastilha apresenta tamanho de grão mais fino e menor teor de fase aglutinante do que na porção interior. A pastilha é feita mediante colocação de um pó de um produto refinador de grãos,

contendo carbono e/ou nitrogênio, sobre o elemento compacto, antes do procedimento de sinterização.

O documento de patente US 2004/0009088 A1 divulga um elemento compacto verde de WC e Co, que é aplicado com
5 um produto inibidor de crescimento de grãos e, depois, sinterizado.

O documento de patente EP 1739201 A1 divulga uma broca de perfuração, incluindo uma pastilha que apresenta um gradiente aglutinante gerado pela difusão de carbono,
10 boro ou nitrogênio.

O documento de patente JP 04-128330 divulga o tratamento de um corpo verde, constituído de WC e Co, contendo ainda cromo.

Constitui um objeto da presente invenção,
15 proporcionar um corpo de metal duro, o qual, preferivelmente, é uma pastilha para ferramentas de mineração, que é durável e que proporciona uma longa duração para a ferramenta.

Especificamente, constitui um objeto da presente
20 invenção, proporcionar um corpo de metal duro, apresentando alta resistência contra danos precoces de impacto.

Descrição da Invenção

A presente invenção proporciona um método de
25 produzir um corpo de metal duro, compreendendo a provisão de: (1) um composto de refino de grãos compreendendo um elemento refinador de grãos e carbono e/ou nitrogênio, e (2) um promotor de crescimento de grãos, sobre pelo menos uma porção de superfície de um elemento compacto de um
30 material de partida à base de WC, compreendendo um ou mais componentes formadores de fase dura e um aglutinante, com posterior sinterização do elemento compacto.

O material de partida à base de WC, adequadamente, apresenta um teor de aglutinante de cerca de

4 a 30% em peso, preferivelmente, de cerca de 5 a 15% em peso. O teor de um ou mais componentes formadores da fase dura no material de partida à base de WC, adequadamente, é de cerca de 70 a cerca de 96% em peso, preferivelmente, de cerca de 90 a cerca de 95% em peso. Adequadamente, o material de partida à base de WC compreende mais de 70% em peso dos componentes formadores de fase dura, preferivelmente, mais de 80% em peso, mais preferivelmente, mais de 90% em peso. Mais preferivelmente, os componentes formadores de fase dura consistem essencialmente de WC. Exemplos de componentes formadores de fase dura, além de WC, se incluem outros carbetos, nitretos ou carbonitretos, dentre os quais são exemplos TiC, TaC, NbC, TiN e TiCN. Além dos componentes formadores da fase dura e aglutinante, impurezas ocasionais podem estar presentes no material de partida à base de WC.

O aglutinante, adequadamente, é um ou mais dentre Co, Ni, e Fe, preferivelmente Co e/ou Ni, mais preferivelmente, Co.

O elemento compacto, adequadamente, é proporcionado mediante prensagem de um material de partida à base de WC, disponível na forma de pó.

O corpo de metal duro, adequadamente, é uma ferramenta de metal duro, preferivelmente, uma pastilha de ferramenta de metal duro. Em uma modalidade, o corpo de metal duro é uma pastilha de ferramenta de corte para usinagem de metal. Em uma modalidade, o corpo de metal duro é uma pastilha para uma ferramenta de mineração, tal como, uma ferramenta de perfuração de rocha ou uma ferramenta de corte de mineral, ou uma pastilha para uma ferramenta de perfuração de petróleo e gás. Em uma modalidade, o corpo de metal duro é uma ferramenta de modelagem a frio, tal como, uma ferramenta para modelagem de roscas, latas de bebidas, parafusos e pregos.

O elemento refinador de grãos, adequadamente, é cromo, vanádio, tântalo ou nióbio, preferivelmente, cromo ou vanádio, mais preferivelmente, cromo.

O composto de refino de grãos, adequadamente, é um carbeto, carbeto misto, carbonitreto ou um nitreto. O composto de refino de grãos, adequadamente, é selecionado do grupo que consiste de carbetos, carbetos mistos, carbonitretos ou nitretos de vanádio, cromo, tântalo e nióbio. Preferivelmente, o composto de refino de grãos é um carbeto ou nitreto de cromo ou vanádio, tal como, Cr_3C_2 , Cr_{23}C_6 , Cr_7C_3 , Cr_2N , CrN ou VC , mais preferivelmente, carbetos de cromo, tais como, Cr_3C_2 , Cr_{23}C_6 , ou Cr_7C_3 .

O promotor de crescimento de grãos, preferivelmente, é um promotor da migração de aglutinante dentro do corpo de metal duro. Adequadamente, o promotor de crescimento de grãos é carbono. O carbono provido sobre a superfície do elemento compacto pode se apresentar na forma de carbono depositado a partir de uma atmosfera de carburação, contendo carbono amorfo, que está presente, por exemplo, na fuligem e negro de fumo ou grafite. Preferivelmente, o carbono se apresenta na forma de fuligem ou grafite.

A proporção em peso do composto de refino de grãos para o promotor de crescimento de grãos, adequadamente, é de cerca de cerca de 0,05 a cerca de 50, preferivelmente, de cerca de 0,1 a cerca de 25, mais preferivelmente, de cerca de 0,2 a cerca de 15, ainda mais preferivelmente, de cerca de 0,3 a cerca de 12, mais preferivelmente, de cerca de 0,05 a cerca de 8.

O composto de refino de grãos, adequadamente, é proporcionado sobre a superfície ou superfícies, em uma quantidade de cerca de 0,1 a cerca de 50 mg/cm^2 . O promotor de crescimento de grãos, adequadamente, é proporcionado sobre a superfície ou superfícies, em uma quantidade de

cerca de 0,1 a cerca de 100 mg/cm², preferivelmente, em uma quantidade de cerca de 0,5 a cerca de 50 mg/cm².

Uma porção ou diversas porções separadas do elemento compacto podem ser providas com o composto de refino de grãos e com o promotor de crescimento de grãos.

Em uma modalidade, o método compreende a provisão do composto de refino de grãos e do promotor de crescimento de grãos sobre a superfície de um elemento compacto, primeiramente mediante a provisão de um elemento compacto, depois, provisão do composto de refino de grãos e do promotor de crescimento de grãos sobre pelo menos uma porção da superfície do elemento compacto. O composto de refino de grãos e/ou o promotor de crescimento de grãos podem ser providos mediante aplicação na forma de uma dispersão ou lama líquida, separada ou combinada, ao elemento compacto. Nesse caso, a fase líquida é adequadamente água, álcool ou um polímero, tal como, polietilenoglicol. O composto de refino de grãos e o promotor de crescimento de grãos podem, alternativamente, serem providos mediante aplicação na forma de substância sólida ao elemento compacto, preferivelmente, na forma de pó. A aplicação do composto de refino de grãos e do promotor de crescimento de grãos sobre o elemento compacto é feita, adequadamente, mediante aplicação do composto de refino de grãos e promotor de crescimento de grãos sobre o elemento compacto, por meio de imersão, pulverização, pintura, ou mediante aplicação sobre o elemento compacto por meio de qualquer outro modo. Quando o promotor de crescimento de grãos for carbono, ele pode ser alternativamente provido sobre o elemento compacto a partir de uma atmosfera de carburação. A atmosfera de carburação, adequadamente, compreende um ou mais dentre monóxido de carbono ou um C₁-C₄ alcano, isto é, metano, etano, propano

ou butano. A carburação é adequadamente conduzida a uma temperatura variando de cerca de 1200 a cerca de 1550°C.

Em uma modalidade, o método compreende a provisão do composto de refino de grãos e do promotor de crescimento de grãos sobre a superfície de um elemento compacto, através da combinação do composto de refino de grãos e do promotor de crescimento de grãos com um pó de material de partida à base de WC, o qual é depois prensado em um elemento compacto. A provisão do composto de refino de grãos e do promotor de crescimento de grãos sobre a superfície do elemento compacto é adequadamente feita mediante introdução do composto de refino de grãos e do promotor de crescimento de grãos em um molde de prensagem, antes da introdução de um pó de material de partida à base de WC seguida de prensagem. O composto de refino de grãos e o promotor de crescimento de grãos são adequadamente introduzidos dentro do molde de prensagem, na forma de uma dispersão ou lama. Nesse caso, a fase líquida na qual o composto de refino de grãos é disperso ou dissolvido, adequadamente, é água, um álcool ou um polímero, tal como, polietilenoglicol. Alternativamente, um ou ambos dentre o composto de refino de grãos e promotor de crescimento de grãos é/são introduzido(s) dentro do molde de prensagem na forma de uma substância sólida.

A área superficial envolvente do elemento compacto, provida com o elemento refinador de grãos e promotor de crescimento de grãos, é adequadamente de cerca de 1 a cerca de 100% da área superficial total envolvente do elemento compacto, preferivelmente, de cerca de 5 a cerca de 100%.

No caso de produção de uma pastilha para ferramentas de mineração, tal como, uma pastilha para uma broca de perfuração, a porção do elemento compacto aplicada com o elemento refinador de grãos e promotor de crescimento

de grãos é adequadamente localizada numa porção da ponta. A área superficial envolvente aplicada com o composto de refino de grãos e promotor de crescimento de grãos é adequadamente de cerca de 1 a cerca de 100% da área superficial total envolvente do elemento compacto, 5 preferivelmente, de cerca de 5 a cerca de 80%, mais preferivelmente, de cerca de 10 a cerca de 60%, mais ainda preferivelmente, de cerca de 15 a cerca de 40%.

10 Gradientes de teor de refinador de grãos e teor de aglutinante são adequadamente formados internamente à superfície do elemento compacto, durante a sinterização.

Durante a sinterização, o elemento refinador de grãos é difundido para longe da superfície ou superfícies providas com o composto de refino de grãos, desse modo, 15 adequadamente formando uma zona com um teor médio decrescente de elemento refinador de grãos, quando se aprofunda mais dentro do corpo.

Uma zona é também adequadamente formada durante a sinterização com um aumento de teor médio do aglutinante, 20 quando do aprofundamento dentro do corpo.

A temperatura de sinterização é adequadamente de cerca de 1000°C a cerca de 1700°C, preferivelmente, de cerca de 1200°C a cerca de 1600°C, mais preferivelmente, de cerca de 1300°C a cerca de 1550°C. O tempo de sinterização 25 é adequadamente de cerca de 15 minutos a 5 horas, preferivelmente, de cerca de 30 minutos a cerca de 2 horas.

A presente invenção se refere ainda a um corpo de metal duro, que pode ser obtido pelo método de acordo com a invenção.

30 A presente invenção proporciona ainda um corpo de metal duro, compreendendo uma fase dura à base de WC e uma fase aglutinante, o corpo compreendendo uma zona de superfície superior e uma zona de superfície intermediária, em que pelo menos uma parte da zona de superfície

intermediária apresenta um teor médio de aglutinante inferior ao de uma parte de dentro do corpo, e em que pelo menos uma parte da zona de superfície superior apresenta, em média, um tamanho médio de grão de WC superior ao da
5 zona de superfície intermediária.

A zona de superfície superior, adequadamente, compreende a distância de um ponto de superfície até uma profundidade (d1). A zona de superfície intermediária, adequadamente, compreende a distância da profundidade (d1)
10 até uma profundidade (d2). A proporção de (d1) para (d2) é adequadamente de cerca de 0,01 a cerca de 0,8, preferivelmente, de cerca de 0,03 a cerca de 0,7, mais preferivelmente, de cerca de 0,05 a cerca de 0,6.

Uma zona de massa, opcionalmente, se dispõe
15 abaixo da profundidade (d2). Na zona de massa, o metal duro, adequadamente, é substancialmente homogêneo, sem quaisquer significativos gradientes ou variações de teor de aglutinante ou de dureza presentes.

A profundidade (d1), adequadamente, é de cerca de
20 0,1 a 4 mm, preferivelmente, de cerca de 0,2 a 3,5 mm. A profundidade (d2) é adequadamente de cerca de 4 a cerca de 15 mm, preferivelmente, de cerca de 5 a cerca de 12 mm, ou a parte mais distante do ponto de superfície ou o que for alcançado primeiro.

25 Em uma modalidade, a dita pelo menos uma parte da zona de superfície superior apresenta em média, um tamanho médio de grão de WC maior do que da zona de massa.

O corpo de metal duro apresenta, adequadamente, um teor médio total de aglutinante de cerca de 4 a cerca de
30 30%, preferivelmente, de cerca de 5 a cerca de 15%. O teor médio total de fase dura à base de WC no corpo de metal duro é adequadamente de cerca de 70 a cerca de 96%, preferivelmente, de cerca de 85 a cerca de 95% em peso. A fase dura à base de WC, adequadamente, compreende mais de

cerca de 70% em peso de WC, preferivelmente, mais de cerca de 80% em peso, mais preferivelmente, mais de cerca de 90% em peso. Mais preferivelmente, a fase dura à base de WC consiste, essencialmente, de WC. Exemplos de componentes na
5 fase dura, além de WC, se incluem outros carbetos, nitretos ou carbonitretos, dentre os quais são exemplos TiC, TaC, NbC, TiN e TiCN. Além da fase dura à base de WC e aglutinante, impurezas ocasionais podem estar presentes no corpo de metal duro.

10 O aglutinante, adequadamente, é um ou mais dentre Co, Ni, e Fe, preferivelmente Co e/ou Ni.

O corpo de metal duro, adequadamente, compreende um gradiente de teor do elemento refinador de grãos. O elemento refinador de grãos, adequadamente, é cromo ou
15 vanádio, preferivelmente, cromo. O teor do elemento refinador de grãos, adequadamente, diminui em média, quando se desloca do ponto de superfície, internamente através da zona de superfície intermediária, no corpo de metal duro. Se uma zona de massa estiver presente, o teor do elemento
20 refinador de grãos, adequadamente, irá diminuir em média, quando ocorrer o deslocamento do ponto de superfície, internamente através da zona de superfície intermediária, no corpo de metal duro.

O teor do elemento refinador de grãos na zona de
25 superfície superior é adequadamente de cerca de 0,01 a cerca de 5% em peso, preferivelmente, de cerca de 0,05 a cerca de 3% em peso, mais preferivelmente, de cerca de 0,1 a cerca de 1% em peso.

O corpo de metal duro, adequadamente, compreende
30 um gradiente de teor de aglutinante. O teor de aglutinante, adequadamente, aumenta em média, quando ocorre um deslocamento através da zona de superfície intermediária no corpo de metal duro. Se uma zona de massa estiver presente, o gradiente compreendendo o teor de aglutinante,

adequadamente, irá aumentar em média, quando ocorrer o deslocamento através da zona de superfície intermediária para a zona de massa. A proporção em peso da concentração do aglutinante na zona de massa, para a concentração do aglutinante a uma profundidade de 1 mm a partir de um ponto de superfície, é adequadamente de cerca de 1,05 a cerca de 5, preferivelmente, de cerca de 1,1 a cerca de 3,5, mais preferivelmente, de cerca de 1,3 a cerca de 2,5. Se nenhuma zona de massa estiver presente, a proporção em peso da concentração do aglutinante, na parte mais distante do ponto de superfície, para a concentração do aglutinante a uma profundidade de 1 mm do ponto de superfície é adequadamente de cerca de 1,05 a cerca de 5, preferivelmente, de cerca de 1,1 a cerca de 4, mais preferivelmente, de cerca de 1,2 a cerca de 3,5.

O tamanho médio de grão de WC, como diâmetro médio de círculo equivalente, adequadamente, é de cerca de 0,5 a cerca de 10 μm , preferivelmente, de cerca de 0,75 a cerca de 7,5 μm .

A dureza (HV10) em diferentes partes do corpo de metal duro, adequadamente, se dispõe dentro da faixa de cerca de 1000 a cerca de 1800.

O corpo de metal duro, adequadamente, compreende pelo menos, o máximo de sua dureza situada abaixo da superfície.

O máximo de dureza máxima é adequadamente situado a uma profundidade da superfície de cerca de 0,1 a cerca de 4 mm, preferivelmente, a uma profundidade de cerca de 0,2 a cerca de 3,5 mm. Em uma modalidade, mais de um valor máximo de dureza está presente no corpo nessa profundidade.

Se o máximo de dureza (HV10) for ≥ 1300 HV10, então, o máximo de dureza estará adequadamente situado a uma profundidade da superfície de cerca de 0,2 a cerca de 3

mm, preferivelmente, a uma profundidade de cerca de 0,3 a cerca de 2 mm.

Se o máximo de dureza (HV10) for <1300 HV10, então, o máximo de dureza estará adequadamente situado a uma profundidade da superfície de cerca de 0,5 a cerca de 4 mm, preferivelmente, a uma profundidade de cerca de 0,7 a cerca de 3,5 mm.

A proporção de um valor máximo de dureza (HV10) no corpo, para a dureza (HV10) do corpo de metal duro em um ponto de superfície mais próximo do máximo de dureza, adequadamente, é de cerca de 1,001 a cerca de 1,075, preferivelmente, de cerca de 1,004 a cerca de 1,070, mais preferivelmente, de cerca de 1,006 a cerca de 1,065, ainda mais preferivelmente, de cerca de 1,008 a cerca de 1,060, mais ainda preferivelmente, de cerca de 1,010 a cerca de 1,055 e ainda mais preferivelmente, de cerca de 1,012 a cerca de 1,050. Por razões práticas, a dureza do ponto de superfície é adequadamente tomada como o valor medido a uma profundidade de 0,2 mm, exceto se o máximo de dureza estiver presente a uma profundidade de $\leq 0,2$ mm, onde, adequadamente, qualquer valor medido a uma profundidade de $<0,1$ mm pode ser tomado.

A diferença de um valor máximo de dureza (HV10) do corpo de metal duro e a dureza (HV10) na zona de massa, adequadamente, é de pelo menos cerca de 50 HV10, preferivelmente, de pelo menos 70 HV10.

Se o tamanho médio de grão no corpo de metal duro for < 4 μm , medido através do método do diâmetro de círculo equivalente, então, a diferença de um valor máximo de dureza (HV10) do corpo de metal duro e a dureza (HV10) na zona de massa, adequadamente, é de pelo menos cerca de 100 HV10, preferivelmente, pelo menos 130 HV10.

Adequadamente, pelo menos um ponto de superfície mais próximo a um valor máximo de dureza no corpo de metal

duro é localizado na porção da ponta de uma pastilha de ferramenta de mineração.

Sobre pelo menos uma parte do corpo de metal duro, a proporção do tamanho de grão a uma profundidade de 0,3 mm, para o tamanho de grão a uma profundidade de 5 mm, ou na zona de massa, adequadamente, é de cerca de 1,01 a cerca de 1,5, preferivelmente, de cerca de 1,02 a cerca de 1,4, mais preferivelmente, de cerca de 1,03 a cerca de 1,3, mais preferivelmente, de cerca de 1,04 a cerca de 1,25. O tamanho de grão é medido pelo método do diâmetro médio de círculo equivalente.

Sobre pelo menos uma parte do corpo de metal duro, a proporção do tamanho de grão, a uma profundidade de 0,3 mm, para o tamanho de grão a uma profundidade de 3 mm, adequadamente, é de cerca de 1,01 a cerca de 1,5, preferivelmente, de cerca de 1,02 a cerca de 1,3, mais preferivelmente, de cerca de 1,03 a cerca de 1,2, mais ainda preferivelmente, de cerca de 1,04 a cerca de 1,15. O tamanho de grão é medido como diâmetro médio de círculo equivalente.

O corpo de metal duro pode ser revestido com uma ou mais camadas, de acordo com procedimentos conhecidos no segmento da técnica. Por exemplo, camadas de TiN, TiCN, TiC, e/ou óxidos de alumínio podem ser providas sobre o corpo de metal duro.

O corpo de metal duro, adequadamente, é uma ferramenta de metal duro, preferivelmente, uma pastilha de ferramenta de metal duro. Em uma modalidade, o corpo de metal duro é uma pastilha de ferramenta de corte para usinagem de metal. Em uma modalidade, o corpo de metal duro é uma pastilha para uma ferramenta de mineração, tal como, ferramenta de perfuração de rocha ou uma ferramenta de corte de mineral, ou uma pastilha para uma ferramenta de perfuração de petróleo e gás. Em uma modalidade, o corpo de

metal duro é uma ferramenta de modelagem a frio, tal como, uma ferramenta para modelagem de roscas, latas de bebidas, parafusos e pregos.

No caso de uma pastilha de ferramenta de mineração, a geometria da pastilha é simplesmente de formato balístico, esférico ou cônico, mas, também, o formato de cinzel e outras geometrias são adequadas na presente invenção. A pastilha, adequadamente, apresenta uma porção de base cilíndrica, com um diâmetro (D), um comprimento (L) e uma porção de ponta. A proporção L/D, adequadamente, é de cerca de 0,5 a cerca de 4, preferivelmente, de cerca de 1 a cerca de 3.

A presente invenção se refere ainda ao uso de pastilha de ferramenta de metal duro em operações de perfuração de rocha ou operações de corte de mineral.

A invenção é ainda ilustrada por meio dos seguintes exemplos não-limitativos.

Exemplos

20 Exemplo 1

Uma mistura de pó de metal duro foi feita mediante uso de matérias-primas padrões, tendo uma composição de 94% em peso de WC e 6% em peso de Co.

Elementos compactos foram feitos na forma de pastilhas para ferramentas de mineração, na forma de brocas de perfuração de 16 mm de comprimento, tendo uma base cilíndrica de 10 mm de diâmetro e uma ponta esférica (meia cúpula).

O tamanho médio de grão foi de cerca de 1,25 μm , medido como diâmetro médio de círculo equivalente.

As pontas receberam aplicação, isto é, foram "dopadas" com Cr_3C_2 como composto de refino de grãos, grafite como promotor de crescimento de grãos ou uma combinação dos mesmos, de acordo com a Tabela 1. Como

referência, uma pastilha não recebeu aplicação de nenhum produto, isto é, permaneceu na condição "não-dopada".

Tabela 1

Amostra	
1	Dopada com Cr_3C_2
2	Dopada com grafite
3 (invenção)	Dopada com Cr_3C_2 -grafite
4	Não-dopada

5

O composto de refino de grão Cr_3C_2 foi aplicado isoladamente, através da imersão de uma ponta em uma dispersão de Cr_3C_2 a 25% em peso, em polietilenoglicol. Grafite, como promotor de crescimento de grãos, foi aplicado isoladamente, através da imersão de uma ponta em uma lama de grafite a 10% em peso, em água, seguido de secagem. Uma mistura de Cr_3C_2 e grafite foi aplicada, através de uma dispersão combinada, compreendendo Cr_3C_2 a 25% em peso, e grafite a 7,5% em peso, em água. Para todas as amostras, cerca de 20 mg da lama ou dispersão foram aplicados sobre uma área de cerca de $1,6 \text{ cm}^2$ da ponta.

As pastilhas foram secas e depois sinterizadas à temperatura de 1410°C por 1 hora, mediante convencional processo de sinterização por pressão gasosa.

A dureza Vickers foi medida para as pastilhas em diferentes profundidades, isto é, distâncias da superfície.

A figura 1 mostra as durezas (HV10) medidas em diferentes distâncias abaixo da superfície. É evidente que o uso de grafite com Cr_3C_2 gera destacados gradientes de dureza. A dopagem com solução de grafite aumenta a dureza de superfície de cerca de 80 HV, quando comparado com amostras não-dopadas. As amostras dopadas com Cr_3C_2 em PEG líquido apresentam, aproximadamente, o mesmo aumento de

dureza, de cerca de 80 HV mais alto que as amostras não-dopadas. As amostras com Cr_3C_2 em solução de grafite obtêm um aumento de dureza superior a 150 HV. É observado que a dureza diminui logo abaixo da superfície.

5 A figura 2 mostra os teores de cobalto, carbono e cromo na Amostra 3, em diferentes distâncias abaixo da superfície. A figura 3 mostra ainda uma vista detalhada do gradiente de cromo. Gradientes evidentes de cobalto e cromo estão presentes.

10 Os tamanhos de grãos foram calculados a partir de imagens de difração por retrodifusão de elétrons (EBSD).

As figuras 4-5 mostram imagens representativas de EBSD da Amostra 3 (amostra da invenção), a profundidades de 0,3 e 10 mm, respectivamente.

15 A Tabela 2 mostra uma comparação do tamanho de grão (diâmetro de círculo equivalente) entre a Amostra 1 (dopada com Cr_3C_2) e a Amostra 3 (dopada com Cr_3C_2 -grafite).

Tabela 2

Distância abaixo da superfície (mm)	Diâmetro médio de círculo equivalente, (μm)	
	Amostra 1 dopada com Cr_3C_2	Amostra 3 dopada com Cr_3C_2 -grafite
0,3 (= zona superior de superfície)	1,24	1,55
10 (= zona de massa)	1,29	1,26

20

Os grãos maiores são encontrados mais próximo da superfície. Um valor máximo de dureza é encontrado, aproximadamente, a 1 mm abaixo da superfície.

Exemplo 2

Elementos compactos de mesmo tamanho e composição que os do Exemplo 1, receberam aplicação, ou seja, foram "dopados" com Cr_2N ou CrN como compostos de refino de grãos e/ou grafite como promotor de crescimento de grãos, de acordo com as Tabelas 2 e 3.

Tabela 3

Amostra	
5	Dopada com grafite
6 (invenção)	Dopada com Cr_2N -grafite
7 (invenção)	Dopada com CrN -grafite

O promotor de crescimento de grãos (grafite) foi aplicado isoladamente, mediante imersão de uma ponta em uma lama de grafite a 10% em peso, em água, seguido de secagem. Uma combinação de Cr_2N , or CrN , e grafite foi aplicada, através de uma dispersão combinada, compreendendo 20% em peso de Cr_2N e 8% em peso de grafite, ou 22% em peso de CrN e 8,8% em peso de grafite, respectivamente, em água. Para todas as amostras, cerca de 20 mg de lama ou dispersão foram aplicados sobre uma área de, aproximadamente, $1,6 \text{ cm}^2$ da ponta.

As pastilhas foram secas e depois sinterizadas à temperatura de 1410°C por 1 hora, mediante convencional processo de sinterização por pressão gasosa.

A dureza Vickers foi medida para as pastilhas em diferentes profundidades, isto é, distâncias da superfície.

A figura 6 mostra a dureza (HV10) (para as amostras 5, 6 e 7) medida abaixo da superfície dopada. É evidente que o uso de grafite com Cr_2N ou CrN gera destacados gradientes de dureza.

A Tabela 4 mostra a dureza da Amostra 6 (dopada com Cr_2N -grafite) e Amostra 7 (dopada com CrN -grafite) em diferentes distâncias da superfície.

5 Tabela 4

Distância abaixo da superfície (mm)	Dureza (HV10)		
	Amostra 5 (dopada com grafite)	Amostra 6 (dopada com Cr_2N - grafite)	Amostra 7 (dopada com CrN -grafite)
0,2	1432	1493	1505
0,7	1446	1496	1510
1,2	1431	1506	1522
1,7	1443	1490	1506
2,7	1436	1470	1464
5,2	1358	1388	1386
8,2	1354	1358	1357

Existe um aumento na dureza de cerca de 140-160 unidades (HV), quando comparado com material de massa não afetado (profundidade de 8,2 mm), para as amostras de acordo com a invenção. A amostra que foi dopada apenas com grafite mostra um aumento de dureza de apenas cerca de 90 unidades (HV). Um valor máximo de dureza é encontrado, aproximadamente, a 1,2 mm de profundidade abaixo da superfície, para as amostras de acordo com a invenção.

15 A figura 7 mostra imagens SEM, representativas da Amostra 6, a uma profundidade de 0,3 mm. A figura 8 representa uma imagem de uma parte de massa não afetada (10 mm) da Amostra 6.

20 Exemplo 3

Elementos compactos de mesmo tamanho e composição que os do Exemplo 1, receberam aplicação, ou seja, foram "dopados" com Cr_3C_2 como composto de refino de grãos e grafite como fuligem ou promotor de crescimento de grãos.

5 Uma combinação de Cr_3C_2 e grafite ou fuligem foi aplicada mediante uma dispersão combinada, compreendendo 20% em peso de Cr_3C_2 e 10% em peso de carbono, na forma de grafite ou fuligem, em água. Para todas as amostras, cerca de 20 mg da lama ou dispersão foram aplicados sobre uma
10 área de cerca de $1,6 \text{ cm}^2$ da ponta.

As pastilhas foram secas e depois sinterizadas à temperatura de 1410°C por 1 hora, mediante convencional processo de sinterização por pressão gasosa.

A dureza Vickers foi medida para as pastilhas em
15 diferentes profundidades, isto é, distâncias da superfície.

A figura 9 mostra a dureza (HV10) medida abaixo da superfície dopada. É evidente que usando fuligem com Cr_3C_2 se proporcionam destacados gradientes de dureza, do mesmo modo que quando se usa grafite com Cr_3C_2 .

20 Existe um aumento na dureza de cerca de 160 unidades (HV), quando comparado com material de massa não afetado (profundidade de 8-10 mm), para as amostras de acordo com a invenção. Um valor máximo de dureza é encontrado a, aproximadamente, 2 mm abaixo da superfície.

25

Exemplo 4

Uma mistura de pó de metal duro foi feita mediante uso de matérias-primas padrões tendo uma composição de 93,5% em peso de WC e 6,5% em peso de Co.

30 Elementos compactos foram feitos na forma de pastilhas para ferramentas de mineração, com 25 mm de comprimento, tendo uma base cilíndrica de 16 mm de diâmetro e uma ponta cônica.

O tamanho médio de grão foi de cerca de 6 μm , medido como diâmetro médio de círculo equivalente.

As pontas receberam aplicação, ou seja, foram "dopadas", com uma combinação de Cr_3C_2 , como composto de refino de grãos e grafite, como promotor de crescimento de grãos, na forma de uma dispersão combinada, compreendendo 25% em peso de Cr_3C_2 e 7,5% em peso de grafite, em água. Para todas as amostras, cerca de 40 mg da lama ou dispersão foram aplicados sobre uma área de cerca de 3,2 cm^2 da ponta.

As pastilhas foram secas e depois sinterizadas à temperatura de 1520°C por 1 hora, mediante convencional processo de sinterização por pressão gasosa.

A dureza Vickers foi medida para as pastilhas em diferentes profundidades, isto é, distâncias da superfície.

A figura 10 mostra a dureza (HV10) medida abaixo da superfície dopada.

A Tabela 6 mostra a dureza (HV10) em diferentes distâncias da superfície.

20 Tabela 6

Distância abaixo da superfície (mm)	Dureza (HV10)
0,2	1137
0,7	1168
1,2	1153
1,7	1166
2,7	1170
3,2	1153
4,2	1153
5,2	1146
6,2	1128
8,2	1094
10,2	1082

Existe um aumento na dureza de cerca de 85 unidades (HV), quando comparado com material de massa não afetado (profundidade de 8-10 mm), para a amostra de acordo com a invenção. Um valor máximo de dureza é encontrado a, aproximadamente, 2 mm abaixo da superfície, para as amostras de acordo com a invenção.

Exemplo 5

As pastilhas de metal duro resistentes ao impacto, de acordo com a invenção, foram comparadas com pastilhas de metal duro homogêneas convencionais, em um grande teste de campo, em perfuração de rochas de rocha residual, em Kiruna, na Suécia. As pastilhas de metal duro convencionais apresentaram uma composição de 94% em peso de WC e 6% em peso de Co. Também, o gradiente de pastilhas de metal duro da invenção compreendeu a composição global de 94% em peso de WC e 6% em peso de Co, mas, distribuída em um gradiente de acordo com a invenção. As pastilhas de metal duro de acordo com a invenção foram feitas conforme o procedimento do Exemplo 1. O gradiente de metal duro foi testado em 20 brocas de perfuração, com seis pastilhas de gabarito e três pastilhas frontais por broca. As brocas de perfuração apresentaram um diâmetro de calibre inicial de 49,5 mm, e foram raspadas na medida de 45-46 mm. As pastilhas de gabarito e as pastilhas frontais foram de 10 e 9 mm de diâmetro, respectivamente. O gradiente de pastilhas de metal duro foi testado em relação ao gabarito, que é a parte mais sensível da broca. As pastilhas frontais foram de metal duro homogêneo padrão. Isso significa $20 \times 6 = 120$ pastilhas de gradiente testadas, o que poderia cobrir o inevitável espalhamento na condição da rocha, que é considerado baixo na rocha residual de Kiruna. Em seguida, 20 brocas idênticas com metal duro padrão foram usadas como referência. As pastilhas apresentaram uma ponta tipo cúpula

esférica, e a geometria foi idêntica para todas as pastilhas de 10 e 9 mm, respectivamente, para as pastilhas padrão e pastilhas de novo gradiente. Uma pastilha foi submetida para medições de dureza de 70 HV10, sobre uma
 5 seção transversal e as linhas de dureza (iso) foram calculadas conforme mostrado na figura 11. É claramente observado que a zona logo abaixo da superfície dopada é menos dura, 1477 HV10, diferentemente de 1-2 mm abaixo da superfície dopada, 1491 HV, onde um valor máximo de dureza
 10 é encontrado.

O teste foi executado com uma sonda de perfuração de martelo de topo da Sandvik Tamrock. O martelo hidráulico de topo foi o modelo HFX5, com uma pressão de operação de 210 bar e uma pressão de alimentação de 90 bar. A rotação
 15 foi de 230 rpm, com uma pressão de rotação de 70 bar.

A Tabela 7 abaixo apresenta média de metros de perfuração por broca (DM), média de metros perfurados por mm de desgaste do diâmetro do calibre da broca (DM/mm), e média de metros perfurados para a ocorrência da primeira
 20 falha (DMF). As brocas foram novamente polidas após cerca de 58-59 m perfurados (cerca de 12 furos/novo polimento).

Tabela 7

	DM	DM/mm	DMF	Dureza (HV10)
Homogênea convencional	455	125	284	1430
Dopada com Cr_3C_2 -grafite	551	149	395	1370-1520

25 Os resultados mostram um aumento na resistência ao desgaste (DM e DM/mm) de 20% e um aumento de vida da ferramenta (DMF) de 40%, quando da comparação de uma broca de perfuração com as pastilhas de acordo com a presente invenção com uma broca de perfuração com pastilhas
 30 convencionais.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de produção de um corpo de metal duro, **caracterizado** pelo fato de compreender a provisão de:

- 5 - um composto de refino de grãos, compreendendo um elemento refinador de grãos e carbono e/ou nitrogênio; e
- um promotor de crescimento de grãos, disposto sobre pelo menos uma porção da superfície de um elemento compacto de um material de partida à base de WC, compreendendo um ou
- 10 mais componentes de fase dura e um aglutinante, com posterior sinterização do elemento compacto.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de que o composto de refino de grãos é um carbeto ou nitreto de cromo ou vanádio.

- 15 3. Método, de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato de que o promotor de crescimento de grãos é carbono.

4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado** pelo fato de
- 20 compreender a provisão do composto de refino de grãos e do promotor de crescimento de grãos sobre a superfície do elemento compacto, primeiramente, pela provisão de um elemento compacto e, depois, pela provisão do composto de refino de grãos e promotor de crescimento de grãos sobre
- 25 pelo menos uma porção da superfície do elemento compacto.

5. Método, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de que são providos o composto de refino de grãos e/ou o promotor de crescimento de grãos, mediante aplicação na forma de uma dispersão ou lama
- 30 líquida, separada ou combinada, ao elemento compacto.

6. Método, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de que são providos o composto de refino de grãos e/ou o promotor de crescimento de grãos,

mediante aplicação na forma de substâncias sólidas ao elemento compacto.

7. Método, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de que o carbono é provido sobre o elemento compacto, a partir de uma atmosfera de carburação.

8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado** pelo fato de compreender a provisão do composto de refino de grãos e do promotor de crescimento de grãos sobre a superfície de um elemento compacto, mediante combinação do composto de refino de grãos e do promotor de crescimento de grãos com um pó de material de partida à base de WC, o qual é depois prensado dentro do elemento compacto.

9. Método, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de compreender a introdução do composto de refino de grãos e do promotor de crescimento de grãos em um molde de prensagem, antes da introdução de um pó de material de partida à base de WC, seguido de prensagem.

10. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 9, **caracterizado** pelo fato de que o corpo de metal duro é uma pastilha de ferramenta de corte para esmerilhamento de metal, pastilha para uma ferramenta de mineração ou uma ferramenta de modelagem a fio.

11. Corpo de metal duro **caracterizado** pelo fato de que o dito corpo pode ser obtido pelo método conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 10.

12. Corpo de metal duro, compreendendo uma fase dura à base de WC e uma fase aglutinante, o corpo compreendendo uma zona de superfície superior e uma zona de superfície intermediária, **caracterizado** pelo fato de que pelo menos uma parte da zona de superfície intermediária apresenta um teor médio de aglutinante inferior ao de uma parte de dentro do corpo, e em que pelo menos uma parte da

zona de superfície superior apresenta, em média, um tamanho médio de grão de WC superior ao da zona de superfície intermediária.

13. Corpo de metal duro, de acordo com a
5 reivindicação 12, **caracterizado** pelo fato de que:

- a zona de superfície superior compreende a distância de um ponto de superfície até o alcance de uma profundidade (d1);

10 - a zona de superfície intermediária compreende a distância de (d1) até uma profundidade (d2); ou a parte mais distante do ponto de superfície, ou aquele que for alcançado primeiro;

- a proporção de (d1) para (d2) é de cerca de 0,01 a cerca de 0,8.

15 14. Corpo de metal duro, de acordo com a reivindicação 12 ou 13, **caracterizado** pelo fato de que a proporção em peso da concentração do aglutinante em uma zona de volume presente abaixo da profundidade (d2), para a
20 concentração de aglutinante a uma profundidade de 1 mm de um ponto de superfície, é de cerca de 1,05 a cerca de 5.

15. Corpo de metal duro, de acordo com a reivindicação 12 ou 13, **caracterizado** pelo fato de que a proporção em peso da concentração do aglutinante na parte mais distante do ponto de superfície, para a concentração
25 de aglutinante a uma profundidade de 1 mm do ponto de superfície, é de cerca de 1,05 a cerca de 5.

16. Corpo de metal duro, de acordo com qualquer uma das reivindicações 12 a 15, **caracterizado** pelo fato de compreender pelo menos o máximo de sua dureza situada
30 abaixo da superfície.

17. Corpo de metal duro, de acordo com a reivindicação 16, **caracterizado** pelo fato de que a dureza máxima é situada a uma profundidade da superfície de cerca de 0,1 a cerca de 4 mm.

18. Corpo de metal duro, de acordo com qualquer uma das reivindicações 11 a 17, **caracterizado** pelo fato de que o dito corpo é uma pastilha de ferramenta de corte para esmerilhamento de metal, uma pastilha para uma ferramenta
5 de mineração ou uma ferramenta de modelagem a frio.

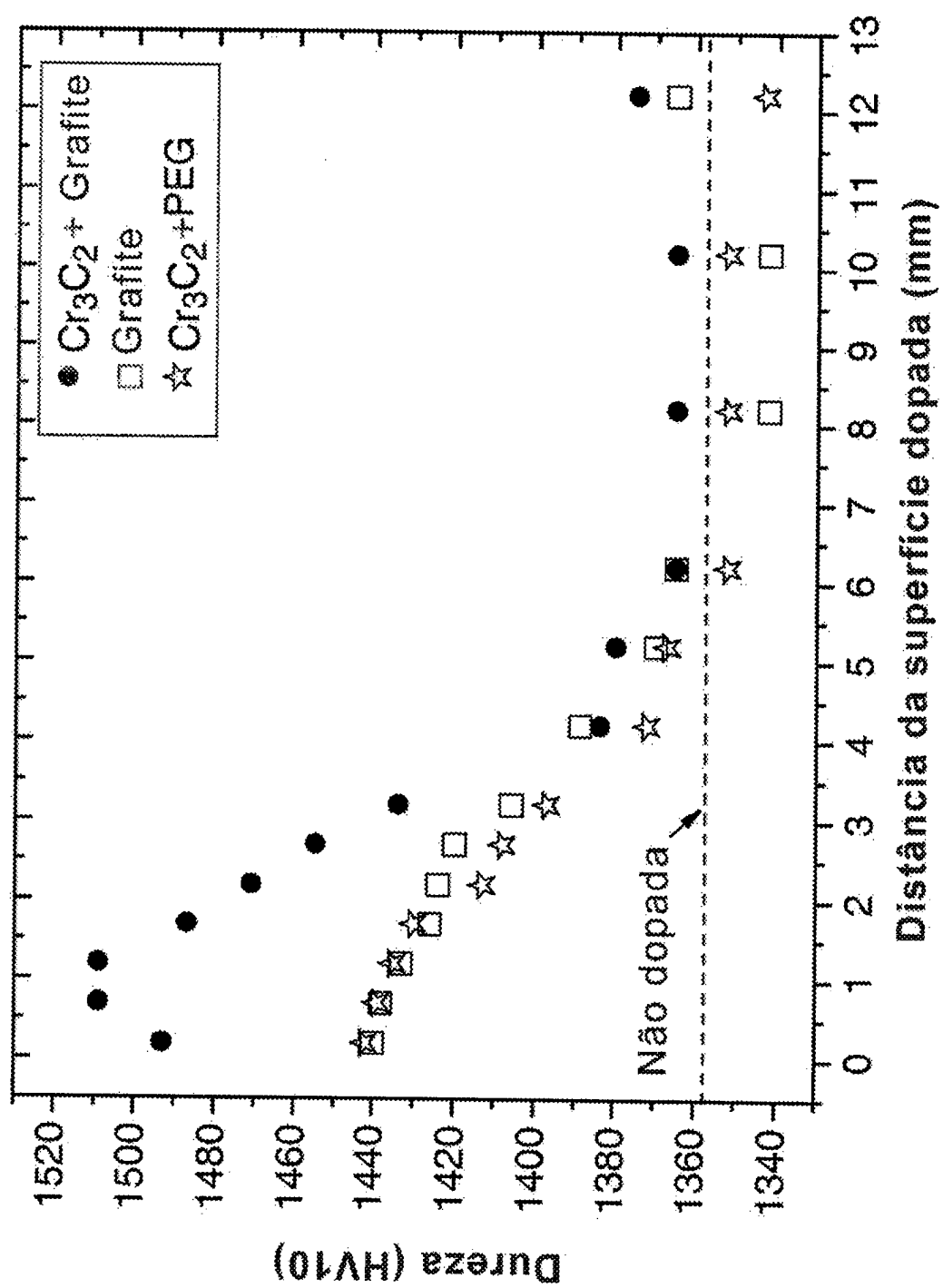


Figura 1

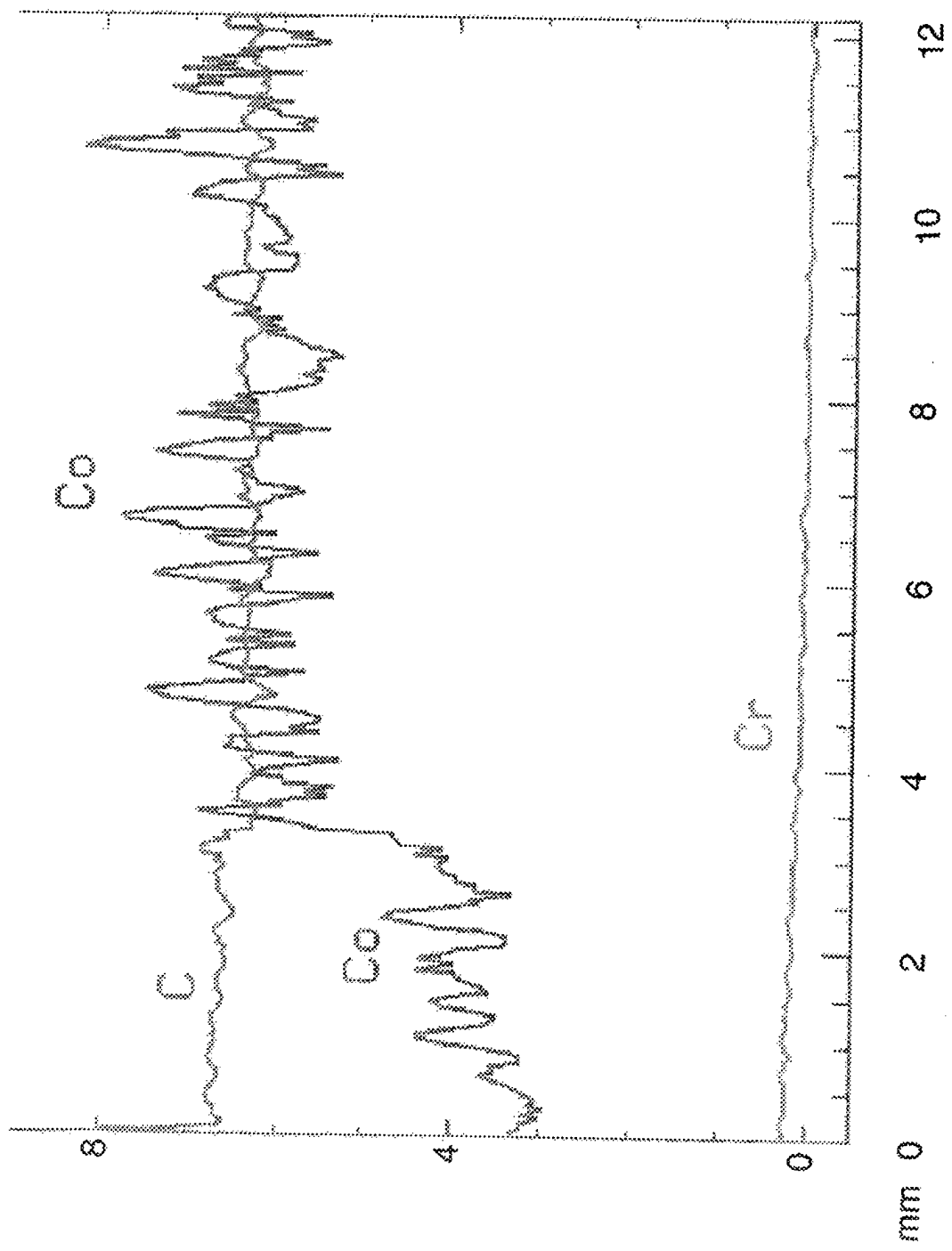


Figura 2

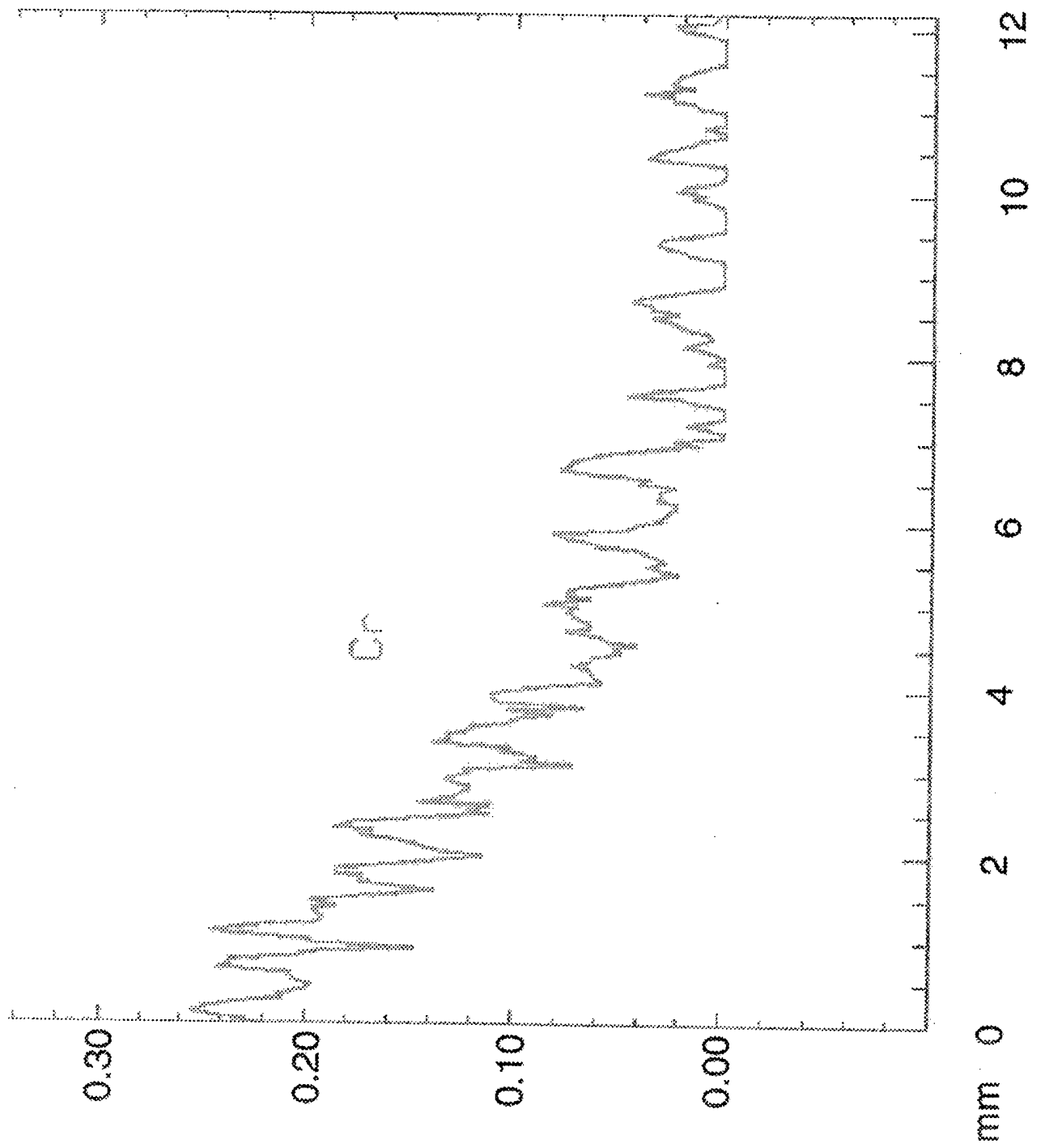


Figura 3

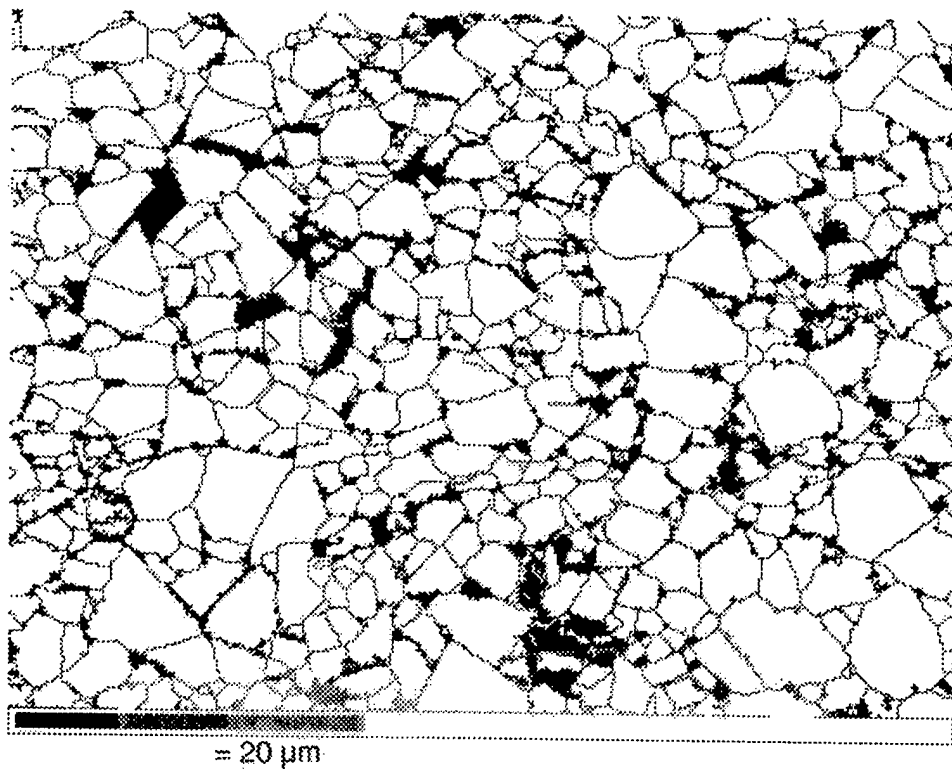


Figura 4

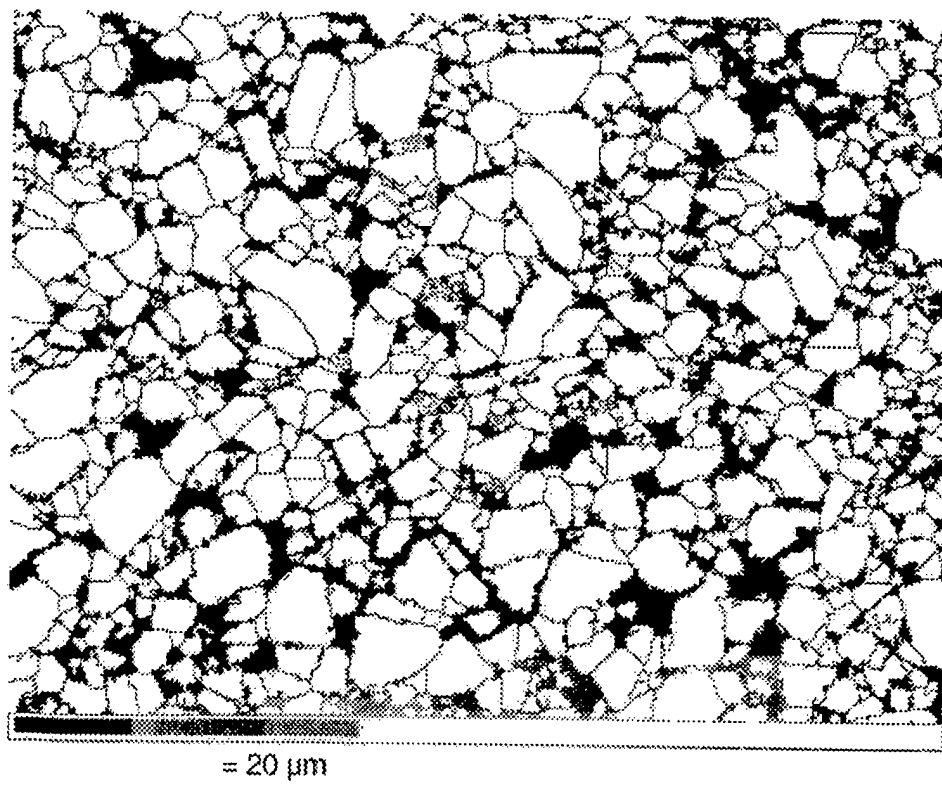


Figura 5

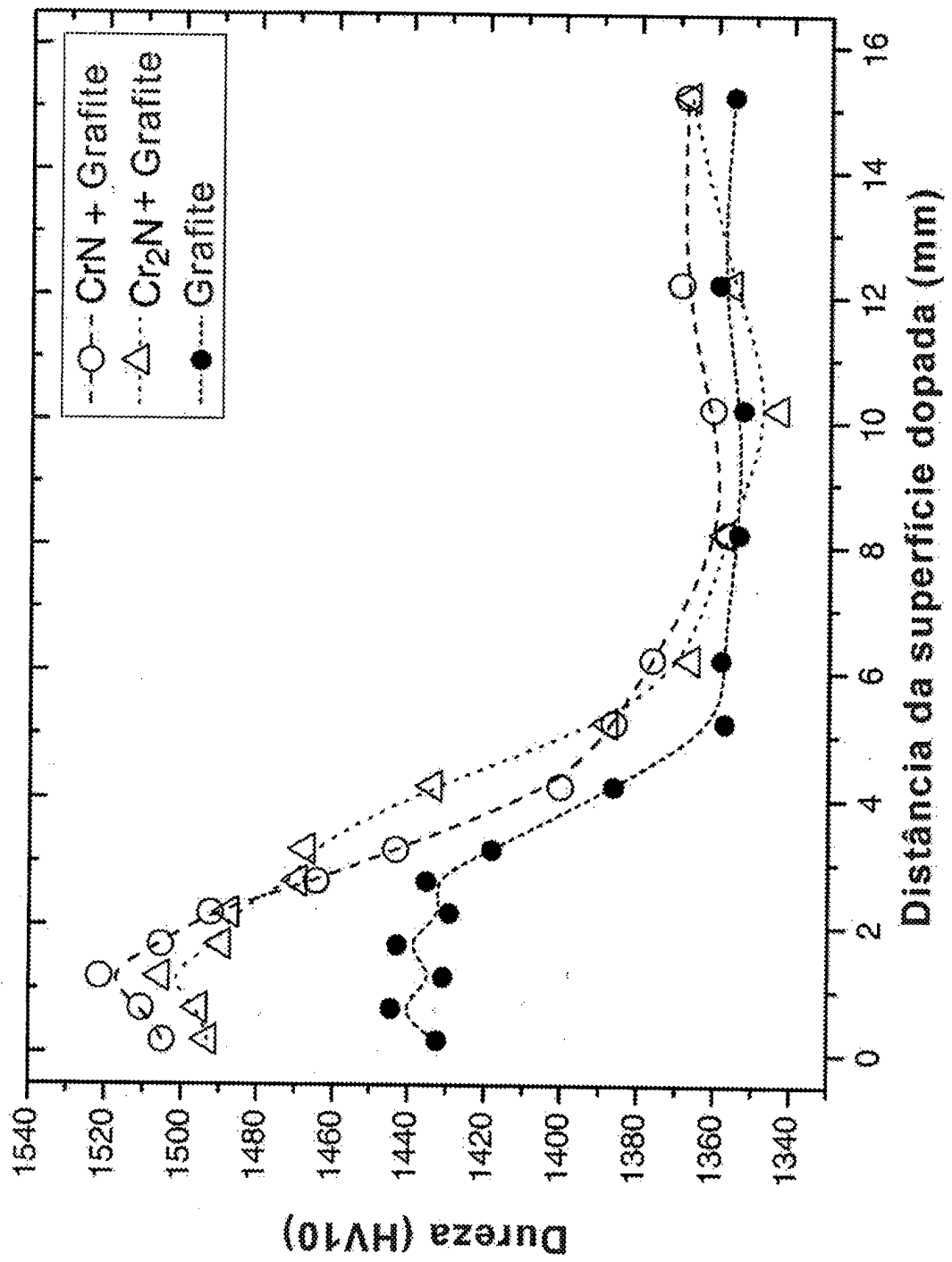


Figura 6

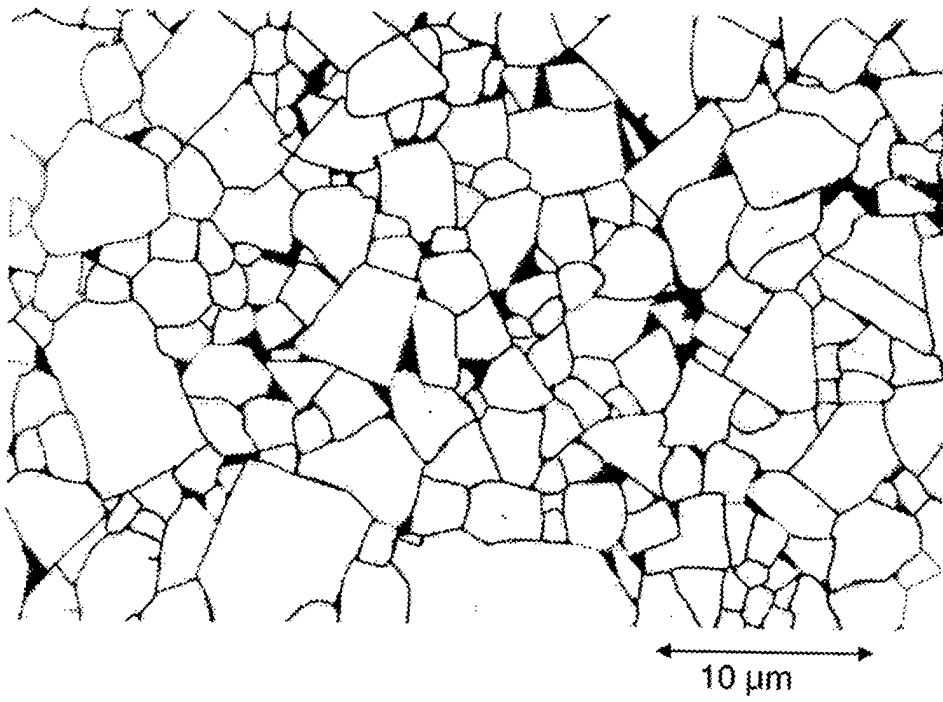


Figura 7

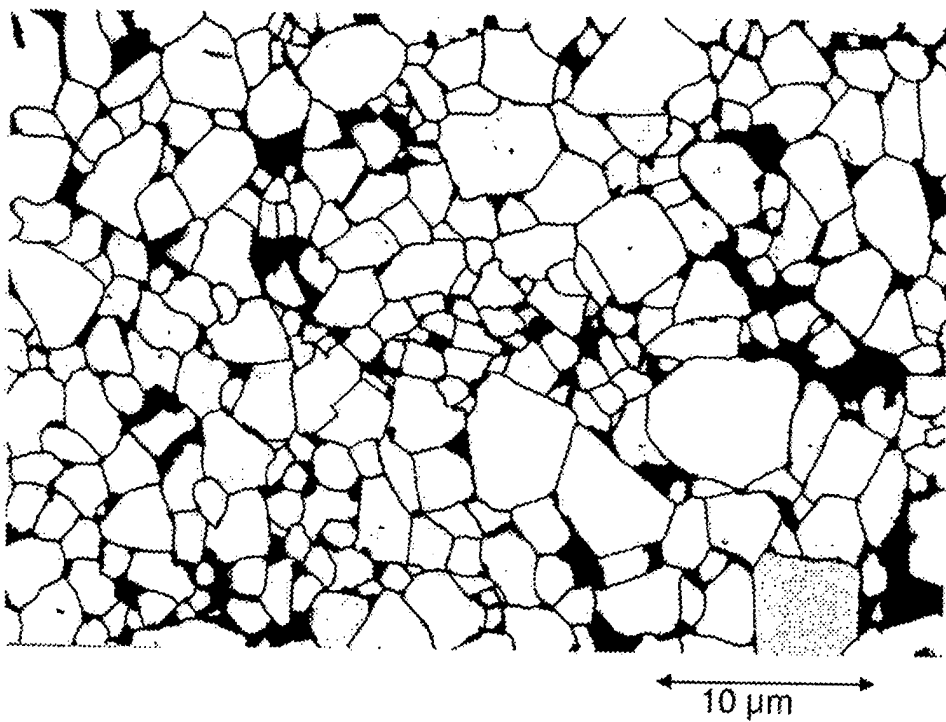


Figura 8

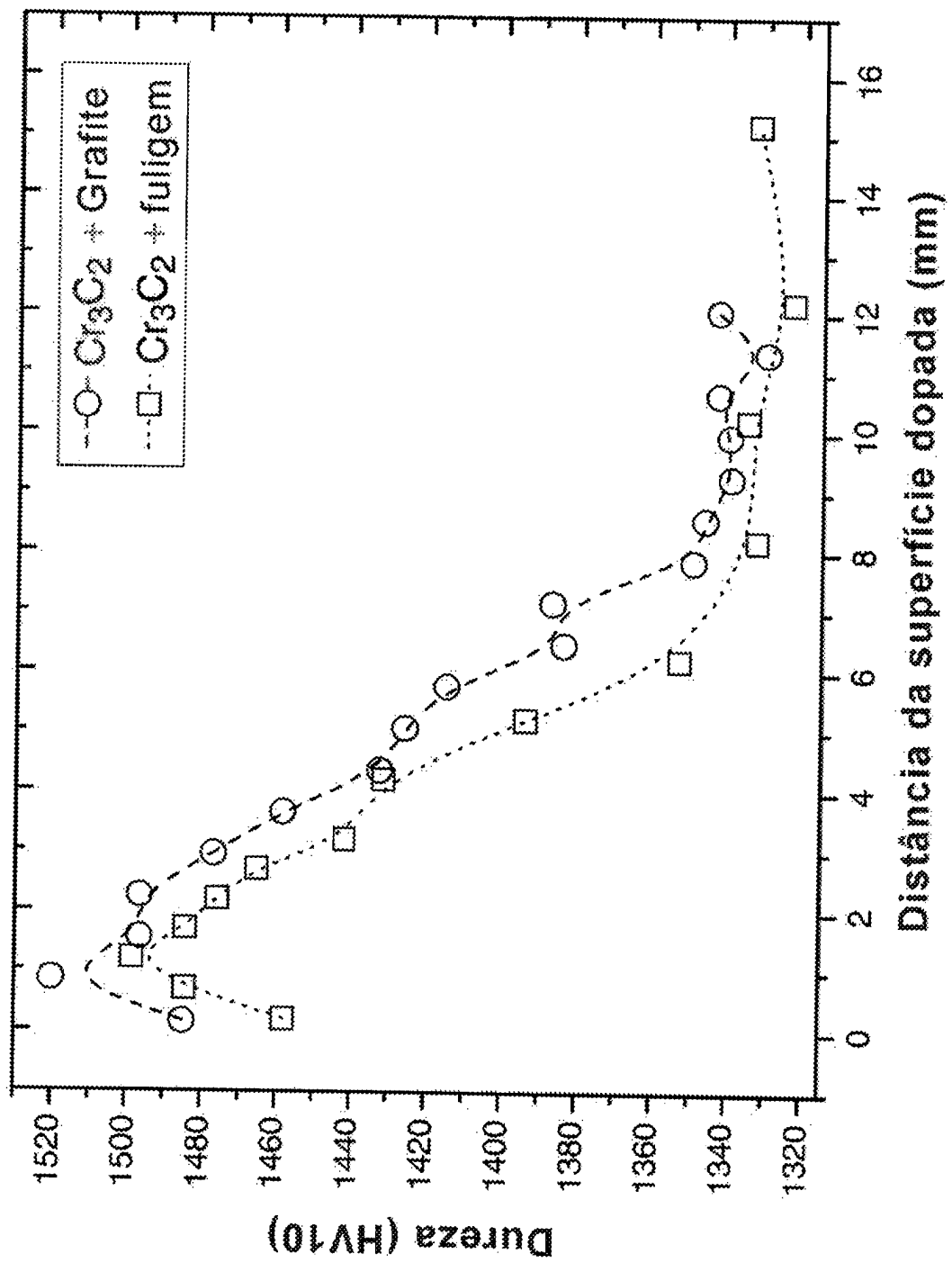


Figura 9

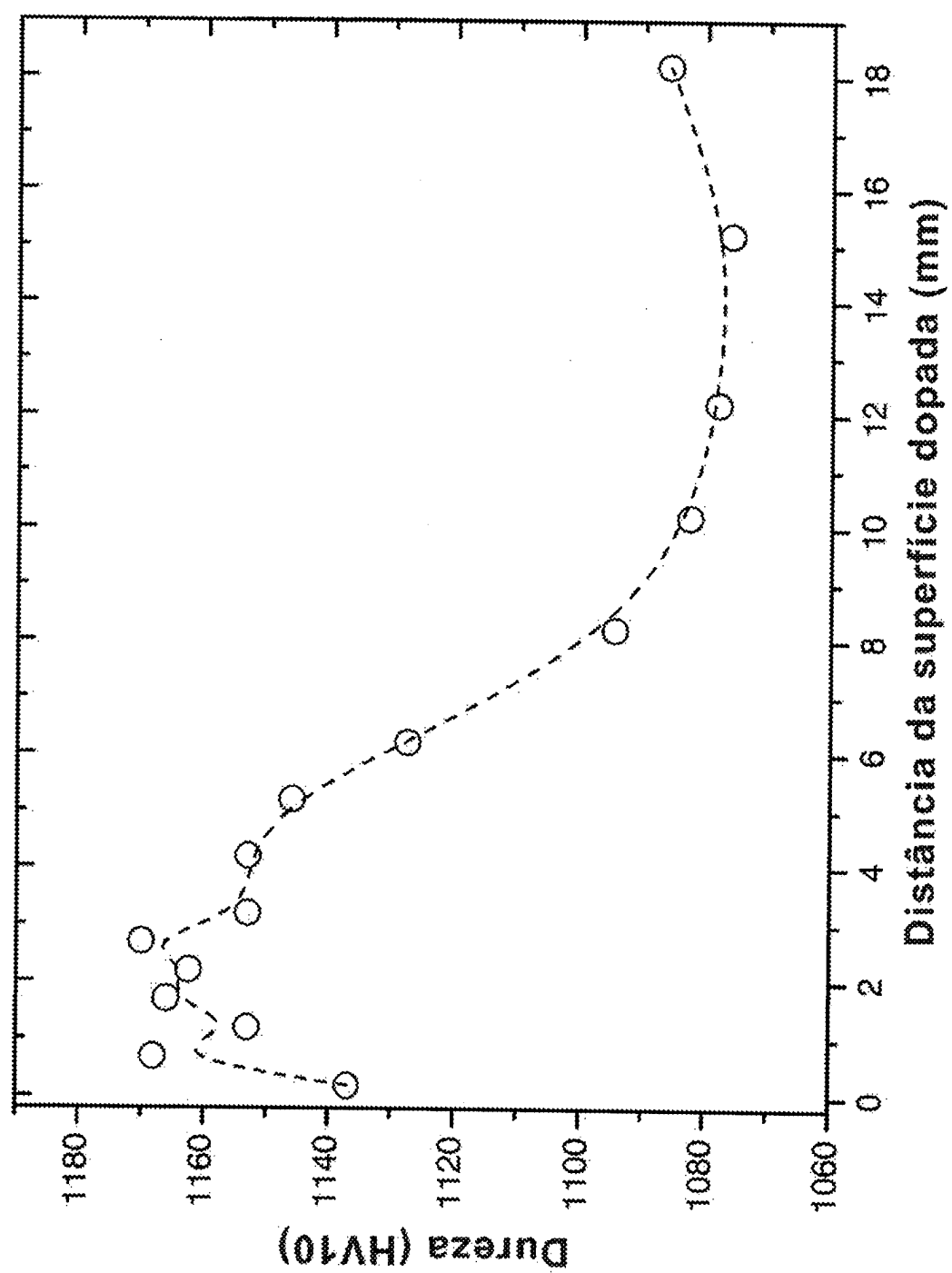


Figura 10

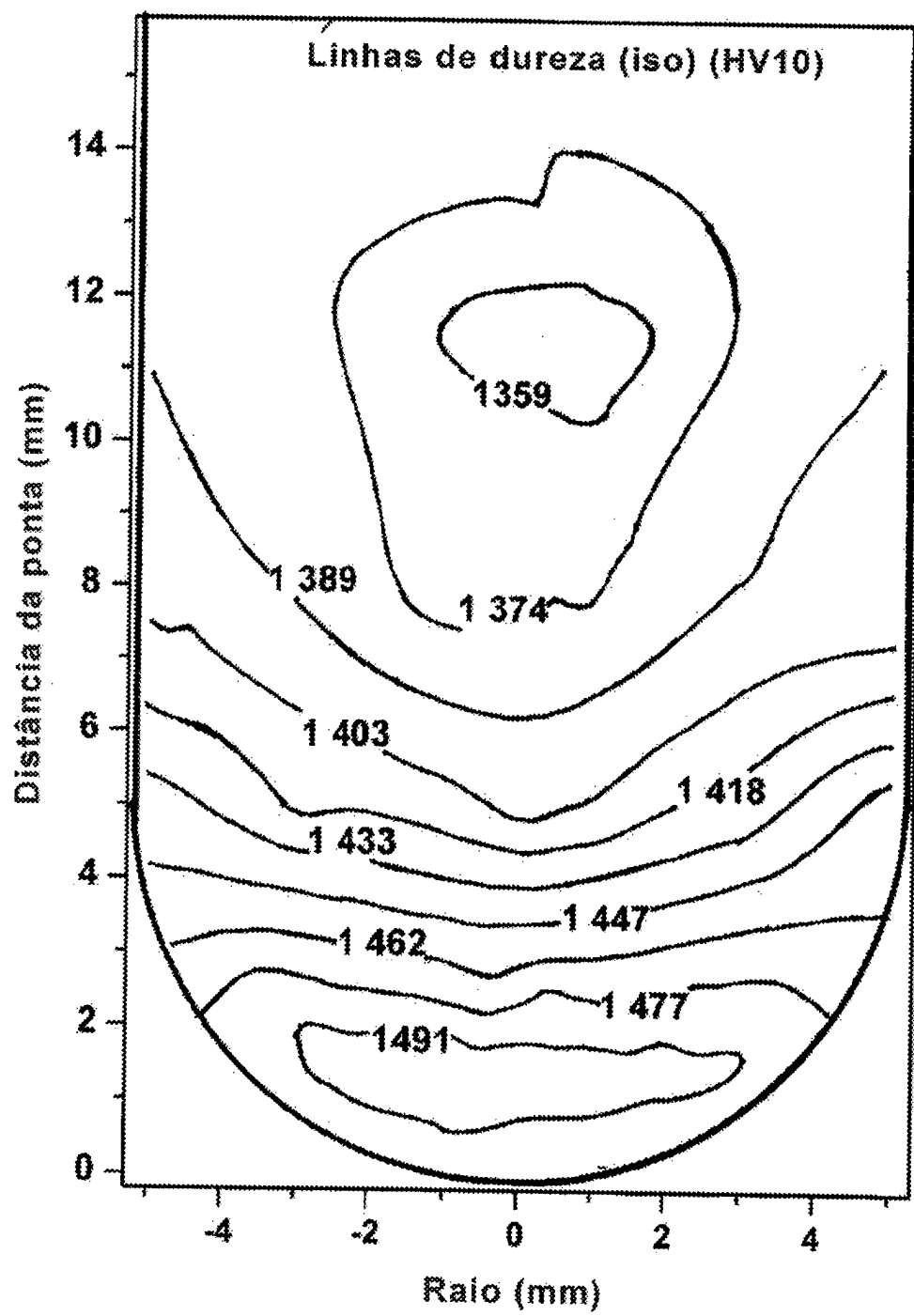


Figura 11