

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

(21) **PI0614705-4 A2**

(22) Data de Depósito: 09/08/2006
(43) Data da Publicação: 12/04/2011
(RPI 2101)



(51) *Int.Cl.:*
C03C 14/00
C03C 10/00
C03B 32/00
C04B 14/04

(54) Título: **COMPOSIÇÃO, ROCHA HÍBRIDA, PROCESSO PARA CONVERTER MATERIAL RESIDUAL EM UMA ROCHA HÍBRIDA, E, APARELHO PARA FORMAR ROCHA HÍBRIDA**

(30) Prioridade Unionista: 25/08/2005 US 11/213218

(73) Titular(es): CERAMEXT, LLC

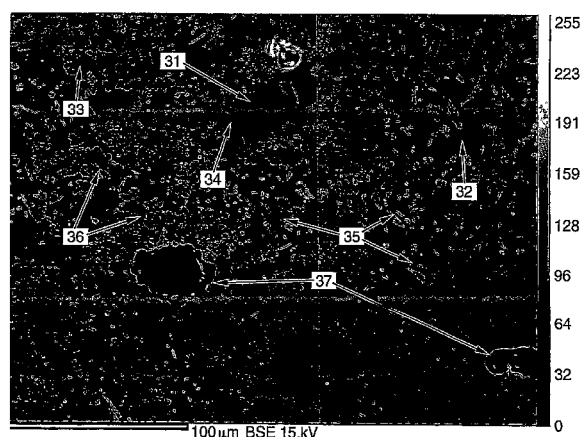
(72) Inventor(es): CARL E. FRAHME, IAN I. CHANG, JAMES L. WOOD, ROBERT D. VILLWOCK, ROSS GUENTHER

(74) Procurador(es): Momsen, Leonardos & CIA.

(86) Pedido Internacional: PCT US2006031324 de 09/08/2006

(87) Publicação Internacional: WO 2007/024505 de 01/03/2007

(57) Resumo: COMPOSIÇÃO, ROCHA HÍBRIDA, PROCESSO PARA CONVERTER MATERIAL RESIDUAL EM UMA ROCHA HÍBRIDA, E, APARELHO PARA FORMAR ROCHA HÍBRIDA. A invenção diz respeito a composições de rocha híbrida sintética, artigos de fabricação e processos relacionados que empregam materiais de partida de resíduo mineral, tais como rejeitos de mina, rocha de lavra de mina, cinza, escória, finos de pedreiras e limos, para produzir artigos de fabricação de valor e produtos, que são caracterizados por características físicas e estruturais superiores, incluindo baixa porosidade, baixa absorção, maior resistência e durabilidade, e plasticidade retida. Os materiais resultantes são composicionalmente e quimicamente distintos de materiais de rocha sintética convencionais, demonstrado pela análise de microsonda eletrônica de varredura, e são usados em uma ampla variedade de aplicações, particularmente com relação a construção comercial e residencial.





COMPOSIÇÃO, ROCHA HÍBRIDA, PROCESSO PARA CONVERTER MATERIAL RESIDUAL EM UMA ROCHA HÍBRIDA, E, APARELHO PARA FORMAR ROCHA HÍBRIDA”

CAMPO DA INVENÇÃO

5 A invenção seguinte está no geral voltada para composições de rocha híbrida sintetizada de matéria, artigos de fabricação e processos relacionados que empregam como material de partida rejeitos de mina, rocha de lavra de mina, cinza, escória, finos de pedreira, limos e materiais de resíduos minerais similares.

10 DESCRIÇÃO DA TÉCNICA RELACIONADA

O processamento de área degradada por mineração e de mineral residual, até agora, não são indústrias inéditas. Existem inúmeros sistemas, processos e métodos para realizar limpeza ambiental de mineração, e para a fabricação de produtos úteis a partir de matérias-primas compostas basicamente de constituintes de minerais residuais.

15 A patente U.S. 3.870.535 revela um método de tratar refugos de mina de carvão para produzir material cimentoso, que é auto endurecido à pressão atmosférica, e pode ser usado como carga estrutural, material para base de rodovias ou, alternativamente, como uma barreira consolidada de agregados para impedir penetração de percolação e contaminação de água
20 superficial resultante. O método envolve tratar rejeitos de mineração de carvão provenientes de processos de extração de carvão com calcário (para neutralizar o ácido sulfúrico), ou calcário e um material pozolânico, tal como cinza volante, para reagir à pressão atmosférica pelo menos por diversos dias,
25 na presença de umidade com íons sulfato que foram liberados dos rejeitos e, em alguns casos, também reagir com produtos de ferro solúveis nos rejeitos. Os produtos reivindicados são misturas de refugos de mina de carvão e concentrações estequiometricamente distintas de calcário, água e cinza volante. Os produtos da invenção são em geral da variedade 3CaO , Al_2O_3 ,

3CaSO₄, 30-32H₂O ou 3CaO, Al₂O₃, CaSO₄ e 10-12H₂O. Dados de teste de permeabilidade para amostras de produtos indicaram que a permeabilidade diminuiu depois do término de um período de cura de sete dias a 100 °F (37,8 °C). Da mesma forma, dados de tensão compressiva indicaram que a
5 resistência compressiva do material, medida em PSI, aumentou com o aumento do tempo de cura. Informação detalhada relativa à densidade e plasticidade da composição não é revelada. Entretanto, a composição é por natureza cimentosa, e, portanto, de aplicação e utilidade potencial limitada. Desvantagens bem conhecidas associadas com produtos a base de cimento
10 incluem alta porosidade e instabilidade estrutural em decorrência de flutuações de temperatura e clima.

A patente U.S. 5.286.427 revela um método de realizar limpeza ambiental, produzindo materiais de construção estrutural usando material de rejeito de rejeitos de mina. O método envolve prover instalações
15 para produzir o material de construção estrutural; prover matérias-primas para produzir o material de construção, as matérias-primas compreendendo rejeitos de mina não processados (com um grau de material adequado para uso imediato) como um substituto de areia de sílica processada, mas cimento de pó de alumínio; analisar os rejeitos de mina para determinar a composição e
20 quantidades percentuais em peso de outras matérias-primas presentes; preparar uma lama a partir dos rejeitos de mina e combinar a lama com outras matérias-primas para formar uma lama concentrada; ajustar as quantidades de outras matérias-primas de acordo com as quantidades percentuais em peso determinadas nos rejeitos de mina; e processar a lama concentrada através da
25 instalação provida, incluindo uma etapa final de cura que produz o material estrutural de construção. Por causa da reação química que ocorre no estágio de lançamento, a lama da produção muda de uma forma fluida para uma forma quase sólida do material de construção. A forma quase sólida expande-se e ajusta-se à forma de um molde e facilita o corte em unidades menores

antes da cura. O cimento aerado autoclavado, produzido e reivindicado, tem utilidade limitada em virtude de a composição não ter plasticidade e ser portanto incapaz de reforma subsequente eficiente. Informação a respeito da permeabilidade, porosidade e tempo de cura do material exigidos não é

5 revelada. Conforme declarado anteriormente, desvantagens bem conhecidas associadas com cimento incluem alta porosidade e instabilidade estrutural em decorrência de flutuações de temperatura e clima.

A patente U.S. 6.825.139 revela uma composição cristalina, um produto policristalino, um artigo de fabricação e um processo relacionado

10 que utiliza cinza de carvão como material de partida. O processo envolve misturar partículas de cinza de carvão com pelo menos um agente de formação de vidro e pelo menos um catalisador de cristalização, fundir esta combinação para formar uma mistura e resfriar a mistura resultante até a temperatura ambiente para formar um produto policristalino não poroso

15 homogêneo compreendendo SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , TiO_2 , MgO , Na_2O , Li_2O , CeO_2 , ZrO_2 , K_2O , P_2O_5 , Cr_2O_3 , ZnO e MnO_2 . Os produtos policristalinos são materiais policristalinos obtidos de composições de vidro por meio de cristalização catalítica e consistindo de uma a diversas fases mineralógicas cristalinas distribuídas uniformemente na fase vidro restante. A

20 avaliação da microestrutura, revelada por microscopia eletrônica, mostrou uma estrutura vidro-cerâmica densa com as dimensões dos cristais de aproximadamente 1 micron. A composição mineralógica da composição, demonstrada por difração de raios-X, revelou que a fase cristalina predominante é amortita, ao passo que as fases cristalinas adicionais incluem

25 albita e dissilicato de lítio. A densidade do vidro foi determinada em 2.720 kg/m^3 ; a porosidade menor que 0,02 %; e a tensão de dobramento foi até 150 MPa. Entretanto, a composição é aquecida a temperaturas que exigem adição de pelo menos um catalisador de cristalização para realizar as várias fases cristalinas, e até o ponto em que a composição, artigo e processo

correspondente são relativamente trabalhosos e propensos a imprecisões, caso ocorram erros durante a adição do catalisador.

O processamento em volume de material mineral minerado relativamente homogêneo também resultou na criação de inúmeros produtos de azulejos/ladrilhos cerâmicos de variada qualidade e durabilidade. Por exemplo, cerâmicas convencionais produzidas pelo processamento de misturas de constituintes minerais naturais e misturas podem ser classificadas, de acordo com seu teor de vidro, como não vítrea, semi-vítrea e vítrea. Cerâmica não vítrea, das quais Dal-Tile é um exemplo, é em geral fabricada de argila, talco e minerais de carbonatos, e tem absorção de água maior que 7 %. Não são usados minerais fundentes tal como feldspato nessas composições. Dal-Tile não vítrea deste tipo tem uma absorção de água de 13-14 %, medida pela ASTM C373. Este tipo de azulejo/ladrilho virtualmente não tem teor de vidro, e obtém sua integridade estrutural a partir de reações de estado sólido e sinterização. Cerâmica semi-vítrea, da qual Balmor é um exemplo, em geral têm um certo teor de vidro e absorção de água correspondente entre cerca de 4 % e cerca de 7 %. Este é um produto de corpo vermelho, sua cor por causa de seu teor de ferro natural. Tais corpos são geralmente feitos de misturas de terra contendo argila que contêm quartzo e feldspato natural. Este último age como um agente fundente para produzir uma fase líquida durante a queima, a dita fase líquida convertendo em vidro durante o resfriamento. Cerâmica vítrea, incluindo azulejo/ladrilho de porcelana, da qual Granitifiandre Kashmir White é um exemplo, tem menos de 4 % de absorção de água. Verdadeiros produtos de porcelana tipicamente têm valores de absorção de água menores que cerca de 0,5 %. Esses materiais são basicamente produzidos a partir de matérias-primas de argila caolinita, quartzo e feldspato. Eles têm um alto teor de vidro (tipicamente 20-30 %), e são também caracterizados pela falta de fases cristalinas que precipitaram da fase líquida durante o resfriamento. Eles geralmente contêm mineral mulita

($3\text{Al}_2\text{O}_3 - 2\text{SiO}_2$) formado a temperaturas de queima elevadas a partir da decomposição do estado sólido da matéria-prima caolinita.

Materiais de azulejo/ladrilho cerâmico não vítreos comercialmente disponíveis

5 A figura 1 é uma imagem eletrônica retrodispersa (BSE) de microsonda eletrônica de varredura do azulejo/ladrilho cerâmico comercial não vítreo fabricado pela Dal-Tile™. Esta imagem BSE ilustra a microestrutura mineralógica típica deste azulejo/ladrilho cerâmico não vítreo dominado por partículas floculadas discretas (1 e 2) que são cimentadas
10 (sinterizadas) sem matriz de vidro aparente. Os espectros da análise microquímica de raios-X de Energia Dispersiva (EDX) das partículas floculadas dominante mostram uma composição química de magnésio-silicato. Esta composição corresponde ao mineral “enstatita” (MgO-SiO_2) identificado na análise de difração de raios-X (XRD) feita nesta amostra de
15 azulejo/ladrilho cerâmico. A fase mineral enstatita não “cresce” ou cristaliza de uma fase líquida, uma vez que não existe nenhuma, mas, em vez disso, foi formada como um mineral de substituição de estado sólido pseudo-amorfo de alta temperatura para um material de carga de alimentação talco amplamente original. Talco é um mineral de silicato de magnésio hidratado
20 $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$.

Bordas de reação de cor clara (branca) (3) envolvem vazios (pretos), alguns dos quais contêm partículas parcialmente dissolvidas (4). Análise EDX indica que as bordas (3) possuem uma composição química de silicato de magnésio e alumínio que corresponde ao mineral cordierita (MgO-
25 $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$) detectado por análise XRD. As partículas parcialmente dissolvidas no centro de alguns dos vazios têm uma composição química de óxido de magnésio típica de periclásio. A abundância deste material MgO foi muito baixa para ser detectável em análise XRD.

Partículas angulares secundárias (5) com uma composição

química de sílica correspondem à composição de quartzo (SiO_2) detectada como um componente secundário neste azulejo/ladrilho cerâmico por análise XRD.

Os espaços vazios abundantes (pretos) ilustram a alta porosidade deste material de azulejo/ladrilho cerâmico não vítreo (6). A ausência de matriz vítrea significativa neste material causa pouco contrato de ligação grão na matriz (7). Ambas essas propriedades físicas contribuem para maior absorção de água, menor dureza e menor módulo de ruptura (MOR – uma medida da resistência mecânica) determinado para este azulejo/ladrilho cerâmico.

Materiais de azulejo/ladrilho cerâmico semi-vítreo comercialmente disponível

A figura 2 é uma imagem eletrônica retrodispersa (BSE) de microsonda eletrônica de varredura do azulejo/ladrilho cerâmico comercial semi-vítreo da Balmor™. A figura 2 ilustra a microestrutura mineralógica típica deste azulejo/ladrilho cerâmico semi-vítreo de grãos minerais primários parcial ou completamente dissolvidos. Análises EDX desses grãos de minerais revelaram as composições químicas, que são correlacionadas com minerais específicos identificados por análise XRD como constituintes deste material de azulejo/ladrilho. Esses incluem potássio-feldspato (10), feldspato plagioclásio (11, quartzo (12) e goetita ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) (13).

Esses grãos de minerais primários são cimentados por uma matriz de vidro amorfa semi-contínua. A análise microquímica EDX de duas áreas de matriz vítrea (14 e 15) mostra que as razões particulares dos cátions K, Na e Ca nas duas áreas vítreas parecem ser similares às duas composições de feldspato adjacentes (comparar 10 com 14 e 11 com 15). Esta similaridade indica que composições de vidro podem variar com relação à composição de cátions, e são afetadas pelos constituintes de cátions específicos dentro dos grãos de minerais adjacentes que se fundem ou dissolvem para formar o material da matriz de vidro.

A figura 2 revela que a matriz vítrea deste azulejo/ladrilho cerâmico semi-vítreo é semi-contínua, resultando em um grau moderado de porosidade retida 16. Esta porosidade é amplamente desconectada, mas não completamente, resultando em menores propriedades de absorção de água. Os
5 grãos primários não são completamente ligados (17) na matriz vítrea, que causa uma redução na durabilidade e dureza do material.

A figura 2 também não mostra minerais cristalitos secundários na matriz vítrea. Não está indicada evidência de que novas fases minerais cristalinas se precipitaram da fase líquida durante o processo de resfriamento.

10 Materiais de azulejo/ladrilho cerâmico vítreos comercialmente disponíveis

A figura 3 é a imagem eletrônica retrodispersa (BSE) de microsonda eletrônica de varredura do azulejo/ladrilho cerâmico vítreo Granitifiandre Kashmir White. Esta imagem BSE ilustra a microestrutura mineralógica típica deste azulejo/ladrilho cerâmico vítreo composto de restos
15 de grãos primários parcialmente dissolvidos. A análise microquímica de EDX de alguns desses grãos está correlacionada com a análise XRD para confirmar que a mineralogia deste azulejo/ladrilho cerâmico é dominada por quartzo (20), feldspato plagioclásio (21) e zircônio (22).

A figura 3 revela que os contornos de grão de quartzo
20 apresentam evidência de significativa dissolução (20), ao passo que os grãos de feldspato são fundidos ou dissolvidos de severamente a completamente (21). Os grãos de zircônio secundários foram evidentemente uma mistura para atingir a textura fundida no corpo do azulejo/ladrilho de porcelana (superfície 22). A matriz vítrea parece ser contínua, deixando somente uns poucos vazios
25 ou poros isolados e produzindo baixas propriedades de absorção de água (23).

A figura 3 também não apresenta minerais cristalinos secundários aparentes na matriz vítrea e sugere que nenhum tal mineral secundário formou-se da fase líquida. Entretanto, mulita – um mineral formado por transformação de estado sólido – foi identificada na análise

XRD. Em virtude de sua forma cristalina acicular típica e tamanho de partícula muito pequeno, sua presença nesta cerâmica não foi positivamente identificada na análise BSE. O peso atômico total (densidade) da mulita pode ser bastante similar ao da matriz de vidro, tornando-a indistinta do vidro.

5 Conforme discutido antes, ineficiências envolvendo métodos convencionais de processar minerais residuais tais como rejeitos de mina e as limitações estruturais e composicionais inerentes em produtos cerâmicos convencionais – particularmente com relação a porosidade e absorção de água correspondente, menor dureza e baixo módulo de ruptura – demonstram que
10 existe uma dupla necessidade de: (1) uma estratégia efetiva e eficiente para dar fim a rejeitos minerais, tais como rejeitos de mina a baixo custo e alta segurança; e (2) um material de rocha sintética vítrea não argilosa de baixo custo e facilmente fabricado com características superiores e até então coletivamente indisponíveis, incluindo baixa porosidade; impermeabilidade
15 sem vitrificação; alta plasticidade para esterilização subsequente; e alta resistência e durabilidade. A invenção revelada aborda essas duplas necessidades simultaneamente.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

20 Esforços com relação a rejeitos de mina e área degradada por mineração têm evocado enormes preocupações ambientais dentro e fora dos Estados Unidos. Rejeitos são produtos residuais que permanecem em áreas de contenção jogados fora para receber água depois que os metais foram extraídos de um local particular, e consistem primariamente de rocha residual contendo uma variedade de minerais formadores da rocha, incluindo como
25 grupos constituintes principais sílica cristalina, feldspato e minerais de argila; com grupos constituintes secundários incluindo carbonatos, sulfatos, sulfetos e micas. Problemas de poluição associados com rejeitos de mina relacionados à integridade estrutural e estabilidade de áreas de contenção de rejeitos e os impactos potenciais caso ocorra falha na contenção. No centro dessas

preocupações está a poluição potencial de rejeitos de mina na terra e na água superficial, e correspondentemente como tal poluição potencial afeta as pessoas que vivem nas proximidades imediatas de áreas de contenção de rejeitos.

5 A necessidade de estratégias efetivas de área degradada por mineração, e disposição segura de resíduos de minas potencialmente perigosos, é da mesma forma amplamente reconhecida nas indústrias de mineração e ambientais. Não existe dúvida de acordo com as leis de que a
10 disposição de rejeitos de minas de uma maneira segura, oposto a tentar continuamente sua contenção, seja desejável, tanto de um ponto de vista de segurança ambiental quanto econômico. Similarmente, outros materiais de resíduos minerais aumentam similarmente as preocupações de contaminação ambiental, e a necessidade de sua disposição segura e efetiva é também bastante reconhecida.

15 Já na Mesopotâmia antiga, pesquisadores localizaram o que eles acreditam ser placas de rochas basálticas formadas de detritos sílico-argilosos. Acredita-se que os habitantes usaram a rocha basáltica como um componente principal na região com uma variedade de propósitos, incluindo cerâmica, arquitetura, materiais de escrita, objetos de técnica e ferramentas.
20 Em estudos simulados para recriar a rocha basáltica a partir de detritos sílico-argilosos, pesquisadores puderam aproximar a composição e textura da rocha basáltica usando detritos sílico-argilosos de aluvião local como material de partida, e aquecendo o material em uma faixa de temperatura definida por um período de tempo prolongado. A rocha basáltica resultante foi caracterizada
25 por cristais de clinopiroxeno combinado embutido em uma matriz vítrea, com restos de matéria-prima de partida tanto aparecendo raramente como completamente ausente da rocha basáltica final. A rocha basáltica foi mais provavelmente de resistência limitada, já que ela não teve uma microestrutura agregada. Por causa da presença observada de muitos poros grandes, alguns

de até 3 mm, o basalto teve alta absorção de água, provavelmente bem além de 7 %.

Em exemplos mais recentes de materiais residuais, cinza volante e cinza tipo detrito da queima de carvão para energia elétrica são
5 resíduos bastante incombustíveis formados de minerais inorgânicos no carvão. Aproximadamente centenas de milhões de toneladas são produzidas a cada ano somente nos Estados Unidos. Cinza volante e cinza tipo detrito são também produzidas em incineradores de lixo e usinas de energia de biomassa. Materiais de resíduos minerais de escória resultam de operações de
10 processamento de metal. Operações de escavação e dragagem geralmente produzem materiais residuais de silicatos, tais como finos ou lamas, que têm que ser jogados fora de uma maneira segura.

Materiais minerais relativamente puros (argila caolinita, feldspato, quartzo, talco, etc.) têm sido convencionalmente usados para
15 fabricar uma variedade de materiais cerâmicos com variadas composições e graus de qualidade. Conforme previamente descrito, azulejo/ladrilho Dal-Tile não vítreo, Balmor Tile semi-vítreo e Granitifiandre Kashmir White vítreo representam alguns deles. Entretanto, esses e um vasto arranjo de outros produtos cerâmicos convencionais (azulejo/ladrilho cerâmico, louças de
20 jantar, etc.) são tipicamente fabricados por métodos que baseiam-se na plasticidade e ligação (no estado não queimado) da argila – geralmente caolinita – e em geral usam matérias-primas relativamente puras. Conforme previamente declarado, cerâmicas convencionais também demonstram inúmeras características indesejáveis, incluindo porosidade e absorção de
25 água de moderada a alta, baixa dureza e resistência, e a ausência de formação de cristalitos secundários mediante resfriamento, que contribui para durabilidade do produto. Também, na fabricação de cerâmicas convencionais, uma preocupação considerável é posta na qualidade e pureza dos ingredientes da matéria-prima. Adicionalmente, contaminantes nas matérias-primas podem

causar considerável dano na qualidade do produto convencional em termos de integridade estrutural e defeitos nas propriedades cosméticas. Surpreendentemente, o processo e a composição do requerente são tolerantes a concentrações mais altas de muitos materiais que são considerados
5 contaminação na fabricação de cerâmicas convencionais. Tais materiais incluem ferro, magnésio, manganês, enxofre e seus compostos.

Existe a necessidade na indústria de limpeza ambiental de desenvolver uma estratégia efetiva e eficiente para recuperação de minas, disposição de rejeitos de mina depois que a extração de mineral na mina tiver
10 terminado, disposição da rocha de lavra de mina, disposição de cinza volante e cinza tipo detrito de usinas de energia ou incineradores, disposição de escória e disposição de finos ou detritos sílico-argilosos. Existe uma necessidade igualmente significativa na indústria de rocha sintética de produzir um azulejo/ladrilho vítreo de baixa absorção facilmente fabricado e
15 de baixa porosidade de uma maneira barata e relativamente rápida.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A invenção do requerente fornece uma composição cristalina e de vidro derivada do processamento de rejeitos brutos de mina e materiais residuais similares, que pode ser usada para criar artigos valiosos de
20 fabricação e produtos para uma ampla variedade de usos, particularmente, mas sem limitação, na indústria de construção comercial e residencial, por exemplo, como piso, parede, telhas, tijolos, blocos, revestimento exterior, painéis, ladrilhos, bancadas, agregados para base de rodovia e outros materiais de construção. A composição exclusiva compreende uma fase
25 clasto, uma fase vidro e uma fase cristalina. A dita fase clasto compreende adicionalmente grãos minerais, grãos de mineralóides, esférulas de vidro, ou fragmentos de rocha, e qualquer um dos quais pode ter sido parcialmente fundido, ou parcialmente dissolvido, ou parcialmente transformado por reação química. A dita fase vidro fornece uma matriz que é cimentada junto com os

clastos. A fase cristalina é completamente encoberta pela fase vidro que formou-se pelo crescimento a partir da fase líquida. A composição exclusiva de clastos fundida por uma única fase vidro, que compreende adicionalmente uma fase cristalina recém-formada, é caracterizada por uma estrutura de brecha agregada microscópica (rocha sintética/matriz de vidro) com características físicas estruturais superiores, incluindo baixa porosidade, baixa absorção, maior resistência e durabilidade, retenção de plasticidade para facilitar a subsequente esterilização para processamento inicial, e atributos químicos facilmente discerníveis, em comparação com materiais de rocha sintética convencionais, demonstrado pela análise de microsonda eletrônica de varredura.

A fase vidro (matriz de vidro) é criada em decorrência da fusão parcial de uma suíte de constituintes minerais brutos originais, que pode incluir feldspato, quartzo e materiais minerais encontrados em uma ampla variedade de tipos de rochas, e que podem adicionalmente estar presentes como grãos minerais individuais (monominerálicos) ou como fragmentos de rocha (poliminerálicos). Depois de um período de fusão ideal, a matriz de vidro resultante é resfriada por um período de resfriamento ideal e, durante o período de resfriamento, minerais de silicato e não silicato exclusivos com variadas proporções de ferro, magnésio, cálcio e enxofre se cristalizam da fase líquida para formar pequenos cristalitos distribuídos por toda a matriz de vidro. De forma importante, os cristalitos secundários recém-formados incluem compostos de silicato, tectossilicato e sulfatos que não estão presentes na matéria-prima de partida, e não são encontrados em cerâmicas comercialmente disponíveis da mesma maneira. Ocasionalmente, alguns desses minerais podem ser encontrados em cerâmicas comercialmente disponíveis; entretanto, esses minerais não são cristalitos secundários formados de uma fase fundida, mas, em vez disso, são restos da matéria-prima de partida. Os minerais específicos formados nos materiais cerâmicos

do requerente são afetados pela composição química exclusiva dos materiais da carga de alimentação de mineral residual, tais como rejeitos, cinza, etc.

5 Inossilicatos são minerais de silicato de cadeia simples e cadeia dupla. O grupo piroxeno de inossilicatos compreende silicatos de cadeia ferromagnésiana não hidratado de cadeia simples. O grupo anfíbolo de inossilicatos compreende silicatos de cadeia ferromagnésiana hidratada de cadeia dupla. Wollastonita é um mineral de silicato de cálcio no grupo inossilicato.

10 Tectossilicatos são minerais de silicato de estrutura, incluindo minerais tais como quartzo e o grupo feldspato. Feldspato plagioclásio é uma série de solução sólida de minerais de feldspato com variadas quantidades de sódio e cálcio.

15 Minerais de sulfato são um grupo de minerais contendo enxofre. Gesso e anidrida são sulfatos de cálcio, com anidreto formando a forma desidratada e gesso a forma hidratada.

20 Piroxenos, particularmente enstatita e hipersteno (a versão contendo ferro de enstatita), bem como augita, diopsida, bronzita e pigeonita, não estão convencionalmente presentes em matérias-primas de partida, e não foram detectados em cerâmicas semi-vítreas ou porcelana. Em vez disso, piroxenos foram detectados, por meio de análise de difração de raios-X (XRD) e análise de microsonda eletrônica de varredura (microsonda) usando um espectrômetro de raios-X de energia dispersa (EDS), somente em cerâmicas de alta porosidade, tal como a cerâmica não vítrea Dal-Tile supradiscutida. Entretanto, análise de microsonda revela que esses piroxenos
25 na cerâmica não vítrea têm uma morfologia que indica aos versados na técnica que eles são o resultado de reações químicas de estado sólido, em vez de cristalização a partir de uma fase fundida. Ao contrário, anfíbolos, particularmente na forma de hornblenda, foram detectados em materiais brutos de rochas de minas, mas não no material processado, em virtude de

esses compostos não sobreviverem ao processamento a alta temperatura em decorrência de desidratação e degradação da ligação durante o processo de aquecimento.

Wollastonita e plagioclásio são ingredientes comuns de algumas cerâmicas convencionais não vítreas para se conseguir tipos e propriedades específicos de cerâmica. Entretanto, wollastonita e plagioclásio não foram detectados usando análise de microsonda e técnicas de EDS como uma fase recém-cristalizada em cerâmicas convencionais, em vez disso, eles aparecem como grãos minerais primários sinterizados.

10 Anidrita e/ou gesso não encontram-se convencionalmente presentes em matérias-primas de partida e não foram detectadas em cerâmicas não vítreas, semi-vítreas ou vítreas convencionais.

As composições e artigos do requerente compreendem tanto fragmentos de rejeitos originais bem como fases minerais recém-formadas, que torna-as composicionalmente distintas não somente do material de partida bruto de rejeitos de mina, mas, de forma mais importante, de composições de rocha sintética convencionais e artigos de fabricação correspondentes. Uma distinção composicional chave entre o material bruto de partida, composições e artigos do requerente, e composições de rocha sintética convencionais é a presença ou ausência de minerais de inossilicato, especificamente piroxenos, wollastonita, tectossilicatos, especificamente feldspato plagioclásio, e sulfatos, especificamente anidrita. Conforme apresentado com mais detalhes a seguir, as composições e artigos do requerente contêm inossilicatos piroxeno, plagioclásio recém-formado, wollastonita e anidrita, que até então não foram detectadas em materiais de rocha sintética vítrea de baixa porosidade. Minerais de piroxeno específicos que podem formar nesta rocha sintética podem incluir, mas sem limitações, um ou mais dos seguintes: augita, diopsida, hipersteno, pigeonita, bronzita e enstatita.

Além do mais, a invenção do requerente emprega uma

estratégia de aquecimento e resfriamento exclusiva, que elimina completamente a necessidade da adição de catalisadores de recristalização. Ou seja, o aquecimento matéria-prima a uma temperatura na qual parte dos componentes, senão todos eles, da matéria-prima começa fundir pelo menos parcialmente. Nessas temperaturas, uma fase líquida é criada que pode escoar para revestir partículas agregadas individuais, ligá-las umas nas outras, e preencher os espaços vazios. A fase líquida pode também começar dissolver material sólido adicional. Mediante referência a taxas razoavelmente fora do limite de têmpera, esta fase líquida pode cristalizar parcialmente sem a necessidade de adição de aditivos de nucleação, em virtude de, por causa da fusão parcial, já existirem superfícies sólidas presentes para iniciar a cristalização. Pressão mecânica para comprimir o material na temperatura pode ajudar distribuir a fase líquida entre as várias superfícies sólidas e aumentar a ligação. Vácuo para remover gás dos espaços vazios pode ajudar eliminar a resistência ao enchimento dos vazios com a fase líquida.

Tipicamente, os primeiros componentes da matéria-prima a ser liquefeitas são partículas de vidro ou feldspatos, muitos dos quais se liquefazem a temperaturas de aproximadamente 1.050 a 1.300 graus C. Preferivelmente, a matéria-prima compreende vidro ou feldspato que torna-se líquido a temperaturas na faixa de 1.100 a 1.200 graus C. O resfriamento a partir dessas temperaturas ocorre a uma temperatura baixa o bastante para permitir que ocorra a recristalização, preferivelmente, cerca de 1 a 50 graus C por minuto, mais preferivelmente cerca de 5 a 20 graus C por minuto, e acima de tudo preferivelmente cerca de 10 graus C por minuto, quando o resfriamento começa da temperatura de pico para os primeiros cem graus de resfriamento. O resfriamento a uma velocidade máxima de 10 graus C por minuto é também especialmente preferido à medida que o material passa pela faixa de temperatura de 600 a 500 graus C, para evitar fratura por causa de mudança de volume associada da transição de fase beta para alfa de qualquer

quartzo que possa estar presente no material.

Nas modalidades e exemplos da presente invenção seguinte, uma quantidade de rejeitos de mina, por exemplo, Historic Idaho-Maryland Mine Tailings ("HIMT") contendo tanto fragmentos de rocha e grãos de minerais individuais, são aquecidos em uma câmara de formação até uma temperatura ideal, preferivelmente na faixa de 1.100 a 1.200 graus C, e dessa forma parcialmente fundidos em um período de tempo ideal, preferivelmente cerca de 0,5 a 6 horas. Durante o processo de fusão parcial, a matéria-prima HIMT é simultaneamente exposta a modificação de pressão, que preferivelmente é a aplicação de força mecânica no material na faixa de 1 a 200 psi (0,01 a 1,38 MPa), e que pode adicionalmente também ser a aplicação de vácuo para reduzir a pressão absoluta para a faixa de cerca de 1 a 600 mbar a fim de remover fase gasosa intersticial.

O aquecimento da matéria-prima HIMT com modificação de pressão resulta em uma matriz parcialmente fundida, que é então resfriada naturalmente em um período de tempo ideal. Durante o período de resfriamento, cristalitos de mineral recém-formados com variadas proporções de silício, alumínio, ferro, magnésio, cálcio e enxofre cristalizam a partir da matéria-prima inicial fundida para formar pequenos cristalitos distribuídos por toda a matriz de vidro. Conforme previamente declarado, a invenção não emprega catalisadores de cristalização ou agentes de nucleação adicionados para facilitar o processo de cristalização.

Os minerais cristalizados recém-formados que ocorrem na matriz de vidro compreendem uma combinação de minerais do grupo piroxeno, grupo feldspato plagioclásio e grupo sulfato. As características morfológicas dos minerais recém-cristalizados indicam seu crescimento secundário a partir da parte fundida de matéria-prima inicial, oposto a formar uma reação de vidro de estado sólido. Mais notavelmente, esses indicadores de crescimento secundário incluem tamanho no geral uniforme, morfologia

cristalina e composição uniforme do mineral recém-formado em toda a matriz de vidro.

Em uma modalidade, a invenção fornece uma composição policristalina impermeável não porosa vítrea compreendendo uma quantidade de clastos, uma quantidade de matriz de vidro, e uma quantidade de pelo menos uma fase cristalina secundária. Os ditos clastos compreendem grãos de minerais simples, tais como quartzo, ou fragmentos de rocha, ou fragmentos de vidro não fundido, ou grãos de mineralóides. A dita matriz de vidro é distribuída entre os clastos, ligando a eles e enchendo praticamente todo o espaço intersticial. A dita pelo menos uma fase cristalina secundária é contida na matriz de vidro, e compreende cristais formados de uma massa fundida com uma composição mineral selecionada do grupo que consiste em minerais ferromagnesianos, piroxenos (por exemplo, clinopiroxeno, ortopiroxeno, augita, diopsida, hipersteno, pigeonita, bronzita, enstatita), ilmanita, rutilo, wollastonita, cordierita e anidrita.

Em uma modalidade, a invenção fornece um método para processar rejeitos de mina, resultando em uma composição policristalina impermeável não porosa vítrea. O dito método compreende secar ao ar uma mostra de rejeitos de mina até menos que 3 % de umidade; classificar os rejeitos de mina para remover material maior que 516 microns; e calcinar os rejeitos de mina no ar a aproximadamente 900 graus C. Os rejeitos de mina são então mecanicamente compactados em um tubo com uma pressão aproximada de 350 psi (2,41 MPa) a uma temperatura aproximada de 1.130 graus C por aproximadamente 60 horas, e subsequente resfriada a uma velocidade de aproximadamente 1 a 3 graus C por minuto, formando a dita composição, compreendendo uma fase clasto, uma fase vidro, e pelo menos uma fase cristalina. A dita fase clasto compreende grãos de minerais simples, tal como quartzo, ou fragmentos de rocha. A dita fase clasto é distribuída entre a dita fase clasto, ligando a partículas clasto e enchendo praticamente

todo o espaço intersticial em volta. A dita pelo menos uma fase cristalina é contida na dita fase vidro, e compreende cristais formados de uma massa fundida com uma composição mineral consistente com minerais selecionados do grupo que consiste em bronzita, augita e pigeonita.

5 Em uma outra modalidade, a invenção fornece um método para processar rejeitos de mina, resultando em uma composição policristalina impermeável não porosa vítrea. O dito método compreende secar ao ar uma amostra de rejeitos de mina até menos que 3 % de umidade; classificar os rejeitos de mina para remover material maior que 516 microns; e calcinar os
10 rejeitos de mina ao ar a aproximadamente 900 graus C. Os rejeitos de mina são então mecanicamente compactados em um tubo com uma pressão aproximada de 300 psi (2,07 MPa) a uma temperatura aproximada de 1.140 graus C por aproximadamente 6 horas, e subsequentemente resfriados a uma velocidade de aproximadamente 10 a 20 graus C por minuto, formando a dita
15 composição, compreendendo uma fase clasto, uma fase vidro e pelo menos uma fase cristalina. A dita fase clasto compreende grãos de minerais simples, tal como quartzo, ou fragmentos de rocha. A dita fase vidro é distribuída entre a dita fase clasto, ligando nas partículas de clasto e enchendo aproximadamente todo o espaço intersticial em volta. A dita pelo menos uma
20 fase cristalina é contida na dita fase vidro e compreende cristais formados de uma massa fundida com uma composição mineral consistente com minerais selecionados do grupo que consiste em bronzita, augita, pigeonita, anidrita e ilmanita.

25 Em uma outra modalidade, a invenção fornece um método para processar rocha metavulcânica de lavra de mina resultando em uma composição policristalina impermeável não porosa vítrea. O dito método compreende secar ao ar uma amostra da rocha de desenvolvimento até menos que 3 % de umidade; classificar a rocha de desenvolvimento em uma peneira de 516 microns. Pó de rocha de desenvolvimento é então processada no

aparelho descrito na patente U.S. 6.547.550 (Guenther) a uma temperatura de aproximadamente 1.160 graus C, com pressão mecânica oscilando entre aproximadamente 30 psi e 160 psi (0,21 e 1,1 MPa) por um período de tempo, em uma atmosfera de vácuo parcial por aproximadamente 60 minutos, e
5 subsequêntemente resfriada a uma velocidade aproximada de 5 a 15 graus C por minuto, formando a dita composição, compreendendo uma fase clasto, uma fase vidro e pelo menos uma fase cristalina. A dita fase clasto compreende clastos poliminerálicos e monominerálicos. A dita fase clasto é distribuída entre a dita fase clasto, ligando nas partículas clasto e enchendo
10 praticamente todo o espaço intersticial em volta. A dita pelo menos uma fase cristalina é contida na dita fase vidro e compreende cristais formados de uma massa fundida com uma composição mineral consistente com minerais selecionados do grupo que consiste em augita, pigeonita, magnemita e ilmanita.

15 Em uma outra modalidade, a invenção fornece um método para processar cinza volante de carvão, resultando em uma composição policristalina impermeável não porosa vítrea. O dito método compreende secar ao ar uma amostra da cinza volante de carvão até menos que 3 % de umidade; classificar a cinza volante de carvão com uma peneira de 516
20 microns; e em seguida calcinar a cinza volante de carvão. A cinza volante de carvão é então mecanicamente compactada a uma pressão aproximada de 300 psi (2,07 MPa) em um tubo a uma temperatura aproximada de 1.115 graus C por aproximadamente 10 horas, e subsequêntemente resfriada a uma velocidade aproximada de 10 a 20 graus C por minuto, formando a dita
25 composição, compreendendo uma fase clasto, uma fase vidro e pelo menos uma fase cristalina. A dita fase clasto compreende clastos remanescente dos constituintes da carga de alimentação inicial. A dita fase vidro é distribuída entre a dita fase clasto, ligando a partículas clasto e enchendo aproximadamente todo o espaço intersticial em volta. A dita pelo menos uma

fase cristalina é contida na dita fase clasto e compreende cristais formados de uma massa fundida com uma composição mineral consistente com minerais selecionados do grupo que consiste em wollastonita, feldspato plagioclásio, anidrita e sulfato de cálcio.

5 Em uma outra modalidade, a invenção fornece um método de processar materiais residuais selecionados do grupo que consiste em rejeitos de mina, rocha residual, resíduos de finos de pedreira, limos, cinza volante, cinza tipo detrito, cinza de carvão, cinza de incinerador, cinza de madeira, e escória, resultando em uma composição policristalina impermeável não
10 porosa vítrea. O dito método compreende submeter os materiais residuais a um aparelho de classificação; transferir os materiais residuais do dito aparelho de classificação para uma câmara rotativa aquecida para transformação química; transferir os materiais residuais da dita câmara rotativa aquecida para uma segunda câmara aquecida opcionalmente fixa com um vácuo;
15 transferir os materiais residuais da dita segunda câmara aquecida para uma terceira câmara aquecida posicionada dentro de um elemento de aquecimento; aplicar pressão nos materiais residuais na dita terceira câmara aquecida, formando uma rocha híbrida; extrusar a dita rocha híbrida em um dispositivo de matriz e remover a dita rocha híbrida da dita terceira câmara aquecida para
20 subsequente uso ou modificação adicional.

 Os benefícios, vantagens e surpreendentes descobertas da presente invenção são, resumidamente, notáveis. Primeiro, e mais importante, uma descoberta surpreendente com relação à invenção do requerente é a presença de inossilicatos de piroxeno na composição final e artigos
25 correspondentes. Até então, compostos minerais piroxeno não foram detectados em materiais de rocha sintética de baixa absorção de baixa porosidade vítreos tais como os da presente invenção do requerente. Em vez disso, piroxenos foram detectados apenas convencionalmente em materiais não vítreos altamente porosos.

Também surpreendente é o fato de que a invenção do requerente atinge máxima cristalização sem a adição de catalisadores de cristalização ou outros agentes de nucleação. A matéria-prima na invenção do requerente não é aquecida além de seu ponto de fusão, mas, em vez disso, é fundida apenas parcialmente, que preserva sítios de núcleos de cristalização já presentes na matriz de vidro. Ao contrário, composições de rocha sintética convencional têm que empregar catalisadores de cristalização para facilitar a formação de cristal em virtude de as matérias-primas correspondentes serem aquecidas acima de seu ponto de fusão e completamente fundidas em um estado homogêneo durante o processamento, que destrói sítios de cristalização potenciais. A catalisação de cristalização convencional é necessária para prover um sítio para cristalização.

Também uma outra descoberta surpreendente relativa à invenção do requerente é que a matriz de vidro da invenção pode compreender várias quantidades de vidro, mas que, com menos de aproximadamente 20 % de vidro, a composição atinge a impermeabilidade. Materiais de rocha sintética pouco permeáveis ou não permeáveis convencionais exigem um alto teor de vidro para atingir a impermeabilidade.

A invenção também tem a vantagem de prover composições de matéria compreendendo partículas cristalinas com uma matriz líquida de ligação de vidro, que permite que as composições mantenham uma quantidade significativa de plasticidade a alta temperatura, diferente de azulejo/ladrilho de argila. Com este nível de plasticidade saliente, as composições podem, enquanto inicialmente aquecidas ou reaquecidas, ser prensadas, laminadas ou injetadas em outras formas e uma variedade de produtos úteis depois da preparação inicial. Por exemplo, versões de grão fino das composições sólidas podem ser prensadas em agregados e pedras redondas para uma variedade de usos de construção, incluindo para uso em cimento, base de estrada e pedras de pavimentação. Alternativamente,

abrasivos normalmente conhecidos, tais como carboneto de sílica, quartzo e granada, podem ser adicionados à composição para subsequente uso em blocos de jateamento de areia e rodas de esmeril.

5 Uma outra vantagem da presente invenção é que as composições de sólidos e os artigos correspondentes de fabricação são impermeáveis sem a necessidade de vitrificação. A impermeabilidade da invenção é diretamente relacionada com o fato de que, diferente de materiais de rocha sintética convencionais, a composição e os artigos contém essencialmente zero porosidade aberta, por causa da estrutura de matriz de
10 vidro contínua que envolve cristalitos distribuídos em toda ela. Com a exceção de certos produtos de argila baratos vítreos raros, tal como porcelana, rocha sintética convencional e produtos cerâmicos exigem vitrificação para atingir a impermeabilidade.

Conforme notado previamente, a invenção do requerente
15 contém virtualmente zero porosidade aberta, que resulta em artigos menos porosos e mais impermeáveis, comparados com materiais cerâmicos convencionais. Surpreendentemente, vazios (poros fechados) podem ser induzidos na invenção do requerente para resultar em material tipo construção de menor peso, sem comprometer as características impermeáveis da
20 invenção.

Outros aspectos e alternativas ou modalidades preferidas da invenção existem. Esses ficarão aparentes com o transcorrer da especificação.

DESCRIÇÃO RESUMIDA DOS DESENHOS

A figura 1 é uma micrografia obtida de análise de microsonda
25 eletrônica de varredura de azulejo/ladrilho cerâmico não vítreo comercialmente disponível (Dal-Tile).

A figura 2 é uma micrografia obtida por análise de microsonda eletrônica de varredura de azulejo/ladrilho cerâmico semi-vítreo comercialmente disponível (Balmor).

A figura 3 é uma micrografia obtida por análise de microsonda eletrônica de varredura de azulejo/ladrilho cerâmico vítreo comercialmente disponível (Granitifiandre, Kashmir White).

5 A figura 4 é uma micrografia obtida por análise de microsonda eletrônica de varredura de um artigo de fabricação resultante do método do requerente de processamento de rejeitos de mina, incluindo uma ilustração da composição do artigo.

10 A figura 5 é uma micrografia obtida por análise de microsonda eletrônica de varredura de um artigo de fabricação resultante do método do requerente de processamento de rejeitos de mina, incluindo uma ilustração da composição do artigo.

15 A figura 6 é uma micrografia obtida por análise de microsonda eletrônica de varredura de um artigo de fabricação resultante do método do requerente de processar rocha de lavra de mina, incluindo uma ilustração da composição do artigo.

A figura 7 é uma micrografia obtida por análise de microsonda eletrônica de varredura de um artigo de fabricação resultante do método do requerente de processamento de cinza volante de carvão, incluindo uma ilustração da composição do artigo.

20 A figura 8 é um fluxograma esquemático que representa um aparelho e método de processamento de materiais minerais residuais.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

Primeira Modalidade

25 Esta modalidade é um aparelho e um processo para processar rejeitos de mina que emprega uma escala de resfriamento lenta, que resulta na composição do requerente e artigos de fabricação correspondentes.

Tabela 1. Composição de alguns dos materiais de alimentação

	Rejeitos de minas Idaho-Maryland	Rocha de desenvolvimento de Idaho-Maryland	Cinza tipo volante de carvão
	massa %	massa %	massa %
perda de ignição	11.29	4.19	19.1
SiO ₂	55.6	48.7	39.84
Al ₂ O ₃	9.89	14.8	13.23
Na ₂ O	1.99	3.40	1.77
MgO	5.01	8.17	1.66
K ₂ O	1.52	0.33	0.67
CaO	7.03	9.23	19.52
Fe ₂ O ₃	5.12	9.72	2.62
MnO	0.11	0.15	0.02
P ₂ O ₅	0.18	0.12	0.42
TiO ₂	0.67	0.93	0.62
C (inorgânico)	0.23	0.55	5.16
C (orgânico)	2.33	0.02	1.65
C (total)	2.56	0.57	6.81
S	0.41	0.16	3.66

EXEMPLO 1

Uma amostra de rejeitos da mina de ouro Idaho-Maryland, com a composição geral mostrada na tabela 1, foi seca ao ar até menos de 3 % de umidade e classificada para remover material maior que 516 microns (30 mesh). O material de rejeitos brutos foi calcinado ao ar a 900 graus C. Após a calcinação, o material, sem aditivos, foi mecanicamente compactado usando um aríete a uma pressão de aproximadamente 350 psi (2,41 MPa) em um tubo de processo de carboneto de silício ligado por nitreto a uma temperatura de 1.130 graus C por um período de tempo prolongado, aproximadamente 60 horas nessa temperatura. O material foi então resfriado lentamente, a uma taxa de 1 a 3 graus C por minuto, formando um material híbrido de rocha sintética, que foi então removido do tubo de processo. Os corpos de prova do material híbrido de rocha sintética tiveram um módulo de ruptura médio de cerca de 85 PMa (12.320 psi) e uma absorção de água média de cerca de 0,3 %, determinada pelo método ASTM C373. Outros dados resultantes estão mostrados na tabela 2.

Tabela 2. Propriedades físicas de materiais híbridos de rocha sintética exemplares

	Ex. 1	Ex. 2	Ex. 3	Ex. 4
módulo de ruptura (psi) / (MPa)	12.320 / 84,94	6.060 / 41,78	9.280 / 63,98	8.230 / 56,74
porosidade aparente (%) ASTM C373	0,7	6,8	2,3	1,8
absorção de água (%) ASTM C373	0,3	3,2	0,8	0,7
gravidade específica aparente ASTM C373	2,65	2,16	2,76	2,53
Densidade aparente (g/cm ³) ASTM C373	2,65	2,16	2,76	2,49

A figura 4 é uma imagem eletrônica retrodispersa (BSE) de microsonda eletrônica de varredura deste material híbrido de rejeitos de rocha sintética de carga de alimentação de rejeitos de mina da Idaho Maryland. A figura 4 ilustra as três fases características típicas da microestrutura mineralógica exclusiva deste material de rocha sintética. Essas três fases incluem clastos (grãos primários remanescentes parcialmente dissolvidos da carga de alimentação de rejeitos); uma fase vidro derivada da fusão parcial dos grãos minerais primários; e uma fase cristalina secundária composta de cristalitos de dimensões similares que ocorrem na fase vidro. Os últimos minerais secundários cristalizaram a partir da fase líquida antes do resfriamento e formação da fase vidro. A figura 4 mostra um grão de quartzo primário remanescente com bordas redondas indicando dissolução de seus contornos de grão anteriormente angulares (31). A fusão praticamente completa da maioria dos constituintes minerais primários dos componentes de carga de alimentação original tal como feldspato deixa pouca evidência de sua existência nesta rocha sintética sem ser área matizada que retêm a assinatura química da mineralogia de origem (32).

A fase vidro (33) com uma composição de aluminossilicato contém quantidades traços de cátions tais como potássio, cálcio, sódio, magnésio e ferro (33). Análise microquímica EDS do vidro em toda a cerâmica indica que a composição do vidro é heterogênea e varia com relação à razão alumínio:silício, bem como o teor de cátion traços (34).

O cristalito recém-formado (secundário) compreende a fase cristalina desta rocha sintética. O maior tempo de processamento resultou em

cristalitos secundários compreendendo 40-50 % do volume deste material. Os cristalitos aparecem em duas morfologias reconhecíveis, cada uma com composições químicas distintas, determinadas por EDS. Alguns cristalitos aparecem em formas de reticulado e esqueleto estreito e ocorrem de forma única e em agrupamentos (35). Cristalitos desta morfologia possuem uniformemente uma composição química na maior parte similar às espécies de bronzita de piroxeno com alto magnésio, mas baixos teores de cálcio e ferro (35). O tamanho dos cristalitos em forma de reticulado varia de 1 a 3 μm de largura e de 5 a 25 μm de comprimento.

A outra morfologia comum de cristalitos é uma forma de blocos equante que ocorres similarmente de maneira simples e em agrupamentos (36). Esta última morfologia de cristalitos é associada com razões cálcio para ferro, similares às variedades de augita ou pigeonita de piroxeno com alto teor de cálcio, mas baixo teor de ferro. O tamanho desses cristalitos em blocos varia de 4 a 15 μm .

A fase vidro contínua neste material de rocha sintética deixa vazios isolados bastante espaçados com pouca ou nenhuma comunicação entre eles, resultando em valores de absorção muito baixos (37).

Segunda Modalidade

Esta modalidade é um método de processamento de rejeitos de mina que emprega uma escala de resfriamento rápida, que resulta na composição do requerente e artigos de fabricação correspondentes.

EXEMPLO 2

Uma amostra de rejeitos da mina de ouro Idaho-Maryland, com a composição geral mostrada na tabela 1, foi seca ao ar até menos de 3 % de umidade e classificada para remover material maior que 516 microns (30 mesh). O material de rejeitos brutos foi calcinado ao ar a 900 graus C. Após a calcinação, o material, sem aditivos, foi mecanicamente compactado usando um aríete a uma pressão de aproximadamente 300 psi (20,7 MPa) em um tubo

de processo de carboneto de silício ligado com nitreto a uma temperatura de 1.140 graus C, com um tempo de permanência de aproximadamente 6 horas à temperatura. O material foi então extrusado em uma matriz retangular (15,2 por 1,3 cm) com um comprimento da face da parte alta de 3,5 cm, e
5 subsequëntemente resfriado a uma velocidade de cerca de 10 a 20 graus C por minuto, formando um material híbrido de rocha sintética. Os corpos de prova do material híbrido de rocha sintética resultante tiveram um módulo de ruptura médio de cerca de 42 MPa (6.060 psi) e uma absorção de água média de cerca de 3,2 %, determinada pelo método ASTM C373. Outros dados estão
10 mostrados na tabela 2.

A figura 5 mostra a imagem eletrônica retrodispersa (BSE) de microsonda eletrônica de varredura do material híbrido de rocha sintética resultante. A figura 5 ilustra as três fases características típicas da microestrutura mineralógica exclusivo deste material de rocha sintética. Essas
15 três fases incluem clastos (grãos primários remanescentes parcialmente dissolvidos da carga de alimentação de rejeitos); uma fase vidro derivada da fusão parcial dos grãos de mineral primário; e uma fase cristalina secundária composta de cristalitos de dimensões similares envelopados na fase vidro. Os últimos minerais secundários cristalizaram a partir da fase líquida durante o
20 resfriamento, provavelmente antes da formação da fase vidro. A figura 5 mostra um grão de quartzo primário remanescente com bordas redondas indicando dissolução de seus contornos de grão inicialmente angulares (41). A fusão praticamente completa da maior parte dos constituintes minerais primários dos componentes da carga de alimentação original deixa pouca
25 evidência de sua existência nesta rocha sintética.

A fase vidro (42) com uma composição de aluminossilicato contém quantidades traços de cátions tais como potássio, cálcio, sódio, magnésio e ferro (42). Análise microquímica EDS do vidro através da cerâmica indica que a composição de vidro é heterogênea e varia com relação

à razão alumínio:silício, bem como o teor de cátions traços (43).

Quatro fases cristalinas secundárias recém-formadas são aparentes neste material de rocha sintética incluindo dois tipos de piroxeno distintos, anidrita e ilmanita. Cristalitos de piroxeno aparecem em duas morfologias, cada qual com distintas composições químicas, determinadas por EDS. Uma morfologia de cristalito de piroxeno é uma forma de reticulado estreito (44). Os piroxenos tipo reticulado possuem uniformemente uma composição química mais similar a espécies de bronzita com altos teores de magnésio, mas baixos teores de cálcio e ferro (44). Os tamanhos dos cristalitos variam de 1,5 a 3 μm de largura e de 5 a 50 μm de comprimento. O menor tempo de processamento para produzir este material (em relação ao exemplo 1) impediu o desenvolvimento de agrupamentos complexos dos cristalitos. Outros cristalitos de piroxeno ocorrem com uma morfologia tipo blocos equantes (45). Este último tipo de piroxeno ocorre simplesmente ou em agrupamentos simples. Esta última morfologia dos cristalitos de piroxeno é associada com as razões de cálcio para ferro similares a variedades de augita ou pigeonita com altos teores de cálcio, mas baixos teores de ferro. Os cristalitos tipo bloco variam de 1 a 5 μm .

Enxofre nesta rocha sintética combinou com cálcio para formar agrupamentos de cristalitos de anidrita (46). Cristalitos individuais nos agrupamentos variam de 2 a 7 μm de tamanho.

Pequenos cristalitos de dimensões similares de ilmanita (óxido de ferro e titânio) de 1 a 5 μm de tamanho a parecem aleatoriamente arranjados na matriz vítrea (47).

A fase vidro contínua neste material de rocha sintética deixa poucos vazios, e amplamente isolados espaçados (48) com pouca ou nenhuma comunicação entre eles, resultando em valores de absorção muito baixos.

Terceira Modalidade

Esta modalidade é um método de processamento de rocha de

lavra de mina metavulcânica que emprega um programa de resfriamento rápido, que resulta na composição do requerente e artigos de fabricação correspondentes.

EXEMPLO 3

5 Um compósito de amostra de perfuração de núcleo retirada de rocha metavulcânica (andesita, dacita, diabase e outras) da mina Idaho-Marylan ("rocha de desenvolvimento") foi seca ao ar até menos de 3 % de umidade, e triturada até um tamanho fino o bastante para passar 100 % em
10 uma peneira de 516 microns (30 mesh). O pó da rocha de desenvolvimento teve uma composição mostrada na tabela 1. O pó da rocha de desenvolvimento, sem aditivos, foi processado em um aparelho descrito na patente U.S. 6.547.550 (Guenther) a uma temperatura de 1.160 graus C, com uma pressão mecânica oscilando entre cerca de 160 psi e 30 psi (1,1 a 0,21 MPa) com um período de oscilação de 10 minutos, em uma atmosfera de
15 vácuo parcial (cerca de 170 mbar de pressão absoluta), com um tempo de permanência de cerca de 60 minutos antes de extrusão do tampão consolidado de material híbrido de rocha sintética. Após a extrusão, o tampão foi resfriado a uma velocidade de cerca de 5 a 15 graus C por minuto. Os corpos de prova do material híbrido de rocha sintética resultante tiveram um módulo de
20 ruptura médio de cerca de 64 MPa (9.280 psi) e uma absorção de água média de cerca de 0,8 %, determinada pelo método ASTM C373. Outros dados resultantes estão mostrados na tabela 2.

A figura 6 é a imagem eletrônica retrodispersa (BSE) de microsonda eletrônica de varredura do material de rocha sintética resultante
25 da carga de alimentação de rocha de desenvolvimento da Idaho Maryland. A figura 6 ilustra as três fases características típicas da microestrutura mineralógica exclusivo deste material de rocha sintética que coletivamente compreendem um arranjo agregado (ou brecha). Essas três fases incluem grãos primários remanescentes parcialmente dissolvidos dos constituintes de

carga de alimentação metavulcânico original; uma fase vidro derivada da fusão parcial dos grãos minerais primários; e fases cristalinas secundárias compostas de cristalitos de dimensões similares envelopados na fase vidro. Os últimos minerais secundários cristalizaram a partir da fase líquida durante o resfriamento, provavelmente antes da formação da fase vidro. A figura 6 mostra inúmeros grãos remanescentes de uma variedade de constituintes primários que formam uma fração de clastos relativamente grosseira. Esses grãos de lítico primários incluem fragmentos de rocha metavulcânica poliminerálica (51) e grãos de mineral monominerálicos (52). Minerais específicos que ocorrem tanto em grãos monominerálicos compostos de um único mineral quanto em fragmentos de rocha poliminerálicos compostos de múltiplos minerais incluem feldspato plagioclásio (53); piroxeno (54); e os restantes de clorita degradada (55). Outros minerais primários herdados dos constituintes da carga de alimentação que também ocorrem, apesar de não ilustrados na figura 6, incluem esfero, quartzo e hematita.

A fusão parcial de feldspato (53) que ocorre na carga de alimentação metavulcânica contribui para a formação de uma fase fundida que criou uma matriz de vidro mediante resfriamento (56). As margens dos grãos de feldspato arredondadas indicam dissolução ou fusão de seus contornos de grãos inicialmente angulares. A fase vidro (56) com uma composição de aluminossilicato contém quantidades traços de cátions, tais como potássio, cálcio, sódio, magnésio e ferro. Análise microquímica EDS do vidro em toda a cerâmica indica que a composição de vidro é heterogênea e varia em relação à razão alumínio:silício, bem como o teor de cátion traço (57).

A figura 6 ilustra a formação da fase cristalina secundária que cristalizou a partir da fase líquida. Agrupamentos de cristalitos de piroxeno aparecem em vários locais envelopados pela fase vidro (58). Os cristalitos de piroxeno individuais nos agrupamentos possuem uma morfologia tipo blocos equante com razões de cálcio para ferro similares às variedades augita e

pigeonita. Outros minerais secundários que cristalizaram a partir da fase líquida, porém não ilustrados na figura 6, incluem magemita (grupo espinélio) e ilmanita (óxido de ferro e titânio).

5 A fase vidro contínua deste material de rocha sintética
 5 envelope praticamente toda a margem de grãos dos clastos, resultando em
 vazios isolados bem espaçados (59). Existe pouca ou nenhuma comunicação
 entre os vazios isolados, resultando em valores de absorção muito baixos
 determinados para este material híbrido de rocha sintética.

10 O atributo estrutural exclusivo deste material de rocha sintética
 10 é a microestrutura mineralógica de brecha agregada criada pelos três
 componentes importantes que inclui: 1) os clastos remanescentes primários,
 2) a fase vidro, e 3) a fase de cristalitos secundários. Este arranjo estrutural de
 brecha agregado de componentes (ou constituintes) cria uma forte
 microestrutura mineralógica agregada com propriedades superiores de
 15 resistência e durabilidade exclusivas deste material de rocha sintética.

Quarta Modalidade

Esta modalidade é um método de processar cinza volante de carvão empregando uma escala de resfriamento acelerada, que resulta na composição do requerente e artigos de fabricação correspondentes.

20 EXEMPLO 4

Material de cinza volante de carvão foi obtido de uma usina elétrica de carvão, especificamente Valmy Train 2 em Winnemucca, NV. A composição da matéria-prima está mostrada na tabela 1. O material foi seco ao ar até menos de 3 % de umidade, e classificado para passar 100 % em uma
 25 peneira de 516 microns (malha 30). Após calcinação, o material de cinza volante de carvão calcinado sem aditivos foi mecanicamente compactado usando um aríete a uma pressão de aproximadamente 300 psi (2,07 MPa) em um tubo de processo de carboneto de silício ligado por nitreto a uma temperatura de 1.115 graus C, com um tempo de permanência de

aproximadamente 10 horas na temperatura. O material foi então extrusado em uma matriz cilíndrica, e subsequente resfriado a uma velocidade de cerca de 10 a 20 graus C por minuto, formando um material híbrido de rocha sintética. Corpos de prova do material híbrido de rocha sintética resultante

5 tiveram um módulo de ruptura médio de cerca de 57 MPa (8.230 psi) e uma absorção de água média de cerca de 0,7 %, determinada pelo método ASTM C373. Outros dados resultantes estão mostrados na tabela 2.

A figura 7 é uma imagem eletrônica retrodispersa (BSE) de microsonda eletrônica de varredura do material de rocha sintética fabricado a

10 partir de carga de alimentação de material residual de cinza volante de carvão. A figura 7 ilustra as três fases características típicas da microestrutura mineralógica exclusiva deste material de rocha sintética que coletivamente compreende um arranjo estrutural agregado. Essas três fases incluem clastos de grãos primários remanescentes parcialmente dissolvidos dos constituintes

15 de carga de alimentação de cinza volante original; uma fase vidro derivada da fusão parcial dos grãos de mineral primário e cinza volante; e fases cristalinas secundárias compostas de cristalitos de dimensões similares envelopados na fase vidro. Os últimos minerais secundários cristalizaram a partir da fase líquida durante o resfriamento, provavelmente antes da formação da fase

20 vidro. A figura 7 mostra grãos remanescentes de constituintes primários que permanecem nesta rocha sintética, incluindo quartzo (61) e esférulas de vidro de cinza volante (62).

A fusão parcial de esférulas de vidro de cinza volante – o constituinte dominante da carga de alimentação – criou uma fase fundida que

25 formou uma matriz de vidro contínua mediante resfriamento (63). A fase vidro (63) com uma composição de aluminossilicato contém quantidades traços de cátions, tais como potássio, cálcio, sódio, magnésio e ferro. Análise microquímica EDS do vidro em toda a cerâmica indica que a composição do vidro é heterogênea e varia com relação à razão de alumínio:silício, bem

como o teor de cátions traços (64).

A figura 7 ilustra a formação de até quatro fases cristalinas secundárias que cristalizaram a partir da fase líquida durante o processo de resfriamento. Essas fases cristalinas secundárias incluem: agrupamentos de cristalitos de wollastonita (65), alguns dos quais nuclearam nos grãos de quartzo primário remanescente (61); cristalitos de feldspato plagioclásio de forma reticulada (66) e piroxeno (67) aleatoriamente distribuídos na fase vidro; e cristalitos de anidrita tipo bloco (sulfato de cálcio) não mostrados na figura 7. A fase anidrita é um componente principal deste material de rocha sintética e serve como um receptáculo principal para o enxofre que foi um constituinte dominante do material residual de cinza volante de carvão.

Cristalitos de wollastonita individuais variam de tamanho de 1 a 6 μm . Os cristalitos de plagioclásio em forma reticulada e piroxeno variam de 1 a 5 μm de largura e 2 a 15 μm de comprimento. Os maiores fenocristais de anidrita tipo bloco têm um tamanho que pode ser resolvido com microscopia de luz polarizada, com tamanhos típicos variando de 10 a 70 μm .

A fase vidro contínua deste material de rocha sintética envelopa toda a parte de grão dos grãos de minerais primários e secundários, resultando em poucos ou nenhum vazio (68). O espaço vazio predominante nesta rocha sintética foi herdado e associado com as esférulas de cinza volante primária (69). Existe pouca ou nenhuma comunicação entre qualquer dos vazios isolados resultantes dos valores de absorção muito baixos, determinados para este material de rocha sintética.

O atributo estrutural exclusivo deste material de rocha sintética é a microestrutura mineralógica de brecha agregada criada pelos três componentes importantes que inclui: 1) os clastos remanescentes primários, que, neste exemplo, incluem grãos minerais e grãos mineralóides, tais como esférulas de cinza volante, 2) a fase vidro, e 3) a fase de cristalito secundária. O desenvolvimento de agrupamentos dos cristalitos de wollastonita grandes

cristalizados em torno de grãos de quartzo primário contribui para a fração de agregados grosseiros (65). Este arranjo estrutural de brecha agregada de componentes (ou constituintes) cria uma forte microestrutura mineralógica agregada com superiores propriedades de resistência e durabilidade exclusivas deste material de rocha sintética.

Quinta Modalidade

Esta modalidade é um método de processamento de materiais minerais residuais, tais como rejeitos de mina, cinza, escória, limos e similares, que resulta na composição e artigos de fabricação correspondentes do requerente.

Referindo-se à figura 8, matéria-prima para fabricação de rocha híbrida sintética 100 pode ser, por exemplo, rejeitos de mina, rocha residual, finos de pedreira, limos, cinza volante, cinza tipo detrito, cinza de carvão, cinza de incinerador, ou misturas desses materiais entre si ou com materiais de alimentação cerâmica pura, tais como argila, feldspato, quartzo, talco e similares. Materiais residuais de silicato são particularmente bem adequados para uso como matéria-prima. Matéria-prima 100 é distribuída ao aparelho de classificação 120, que tem uma saída para partículas de tamanho maior 122 com um tamanho maior que um tamanho da abertura da peneira predeterminado, e que tem adicionalmente uma saída 123 para partículas de menores tamanhos 124, com um tamanho menor que um tamanho da abertura da peneira predeterminado. Partículas com maior tamanho 122 podem ser recicladas para o aparelho de classificação 120 por meio de um processo de trituração (não mostrado), ou jogadas fora.

Partículas de menor tamanho de matéria-prima 124 são transferidas para uma tremonha 131 da calcinação rotativa 130. O sem-fim de alimentação 137 é acionado, por exemplo, pelo motor 136, e matéria-prima particulada é assim levada para um cilindro rotativo aquecido 132. O Cilindro 132 é aquecido por qualquer dos vários meios, incluindo, mas sem limitações,

aquecedores de resistência elétrica, queimadores de gás, e calor exausto ou residual de outros processos. O acionamento 138 gira o cilindro 132, que pode ter uma superfície interna lisa, ou, alternativamente, pode ter uma superfície que é corrugada ou de outra forma grosseira, por exemplo, com saliências, para fornecer um meio para o material ser repetidamente levantado e solto à medida que ele move através do cilindro. O cilindro 132 é inclinado a um ângulo raso em relação à horizontal a fim de conduzir lentamente o pó em direção ao conjunto de descarga 133. A calcinação 130 tem opcionalmente entrada de gás 135 para a adição de ar ou outros gases e liberar ar 134 para a remoção de produtos de combustão ou outros produtos da decomposição gasosa. A calcinação 130 é operada a temperaturas abaixo do ponto em que o material começa amolecer e sinterizar, mas a temperaturas elevadas tais que o material seja pré-aquecido e seco. Outras transformações químicas úteis podem ser realizadas na calcinação, incluindo, mas sem limitações, combustão de materiais orgânicos, conversão de minerais hidratados em óxidos desidratados, dessulfuração, decomposição de carbonatos e similares. A temperatura de processo para cada uma dessas operações varia, mas fica em geral na faixa de 100 a 1.000 graus C.

O material particulado calcinado 139 sai a uma temperatura nesta faixa, preferivelmente cerca de 800 a 1.000 graus Celsius, e passa pela válvula 140 para a tremonha 150. A válvula 140 pode ser fechada para fornecer uma vedação hermética a vácuo entre a tremonha 150 e a calcinação 130. Preferivelmente, a válvula 140 é uma válvula rotativa de alta temperatura que pode escoar continuamente material por ela, mantendo ainda um diferencial de pressão.

A tremonha 150 é de preferência termicamente isolada, ou, alternativamente, provida com uma fonte de calor para manter a temperatura do material particulado. A saída de vácuo 151 pode ser provida para conexão ao vácuo 152. O vácuo remove gás aprisionado e intersticial do material

particulado e contribui para a produção de material de rocha híbrida sintética sem vazios de uma etapa de extrusão subsequente. Vácuo pode também reduzir a oxidação de minerais e pode aumentar a variedade ou nível de cristalização no produto resultante.

5 A abertura de flange 161 da tremonha 150 é conectada na alimentação 160 na abertura do flange 161. A alimentação 160 pode funcionar como um aríete de ação alternada, ou com um sem-fim, ou como ambos. O sem-fim 162 é rotacionado pelo eixo 163 e acionamento 164, levando assim material de rocha híbrida sintética particulado diretamente para o cilindro da
10 extrusora 180. Todo o conjunto sem-fim/acionamento pode mover-se axialmente, por exemplo, por meio de aríete hidráulico 165, movendo axialmente no cilindro hidráulico 166 por causa da pressão criada pela bomba ou unidade de energia hidráulica 167. O movimento axial do sem-fim 162 também transfere material particulado para o cilindro da extrusora 180.

15 Um ciclo operacional típico para usar tanto os aspectos do sem-fim como do aríete da invenção juntos é o seguinte. Com pouca ou nenhuma força, talvez uma força para trás do aríete hidráulico 165, o acionamento 164 gira o sem-fim 162, que transfere material particulado para o cilindro da extrusora 180. Quando o espaço disponível no cilindro da
20 extrusora 180 é cheio com material particulado recém-transferido, o acionamento 164 é desativado, e o sem-fim 162 pára de girar. O aríete 165 é então energizado pela unidade de potência 167 para fornecer uma força axial no sem-fim 162, que, por sua vez, empurra o material no cilindro da extrusora 180. O material é transferido axialmente para baixo no cilindro da extrusora
25 180 desta maneira por uma distância predeterminada. Uma vez que a dita distância predeterminada tenha sido atingida, a força aplicada pelo aríete hidráulico é reduzida, e o ciclo pode ser repetido.

O cilindro da extrusora 180 pode ser construído de um material com excelente resistência a altas temperaturas, boa condutividade

térmica, resistência aceitável e excelente resistência a molhagem ou reação com materiais a ser processados na extrusora. Preferivelmente, o cilindro da extrusora 180 é construído de carboneto de silício (SiC). Mais preferivelmente, o cilindro da extrusora 180 é construído de carboneto de silício ligado por nitreto (SiN-SiC), por exemplo, material Advancer™ disponível pela St. Gobain Industrial Ceramics.

O cilindro da extrusora 180 é comprimido entre a alimentação 160 e a cruzeta 190 e suportado dentro do forno 170. O forno 170 fornece calor, por exemplo, por aquecedores de resistência elétrica ou por combustão de gás, e é preferivelmente um projeto de tubo dividido para facilitar a manutenção, e também preferivelmente tem múltiplas zonas de controle de temperatura ao longo de seu comprimento. O forno 170 fornece calor para aumentar a temperatura do cilindro da extrusora 180 o bastante para fundir, sinterizar, fundir parcialmente ou de outra forma obter a vitrificação desejada do material dentro dele.

Dentro do cilindro da extrusora 180, material particulado alimentado pela alimentação 160 é transferido axialmente em direção à matriz do redutor 181 e aquecido, dessa forma consolidando e vitrificando o material particulado em material de rocha híbrida sintética pelo menos parcialmente fundido.

A matriz redutora 181 conectada na extremidade do cilindro da extrusora 180 fornece uma resistência ao fluxo do dito material de rocha híbrido sintético pelo menos parcialmente fundido e assim aumenta a pressão necessária aplicada pelo aríete 165 para transferir o material, provendo um mecanismo para consolidação do material. A matriz com faces altas opcional 182 conectada na extremidade da matriz redutora 180 pode aumentar ainda mais a resistência ao fluxo. Na ausência da matriz com faces altas 182, pode-se utilizar um espaçador, por exemplo, um pequeno comprimento adicional do cilindro, similar ao cilindro da extrusora 180. Na extremidade de descarga da

extrusora, ou seja, onde a matriz com faces altas ou espaçador sai do forno 170, um anel isolante 183 feito de material resistente termicamente isolante, preferivelmente zircônia, é colocado. O anel isolante 183 minimiza a condução de calor do forno para a cruzeta 190, e é capturado em uma abertura rebaixada dentro da cruzeta 190.

A cruzeta 190 é uma chapa rígida que permite passagem de produto de rocha híbrida sintética extrusada 130 por um furo no centro, provendo ainda compressão mecânica ao anel isolante 183, matriz com faces altas 182, matriz redutora 181 e cilindro da extrusora 180. a cruzeta 190 é suportada por uma pluralidade de molas rígidas 191, cada qual reagindo a uma célula de carga 192 montada em um suporte rígido fixo.

~~O produto rocha híbrida sintética extrusado 130 sai da matriz~~ com faces altas 182, passa pelo anel isolante 183 e cruzeta 190, e é suportado e transferido por uma pluralidade de rolos 201 dentro das câmaras aquecidas 200 e 220. a temperatura nas câmaras aquecidas 200 e 220 é mantida de maneira tal que o material de rocha híbrida sintética extrusado 230 permaneça deformável o bastante para ser cortado pelas tesouras 210 anexadas nos atuadores 212. Depois do corte, o material de rocha híbrida sintética extrusado 220 pode ser removido da câmara aquecida 220 e resfriado por vários meios para disponibilizar produtos úteis. Alternativamente, o material de rocha híbrida sintética extrusado 230 pode ser transferido para operações subseqüentes, tais como prensa, conformação, laminação, moldagem ou vitrificação a uma alta temperatura, usando dessa forma eficientemente o calor no material.

REIVINDICAÇÕES

1. Composição, caracterizada pelo fato de que compreende, em combinação, uma mistura fundida que tem:

uma fase clasto;

5 uma fase vidro; e

pelo menos uma fase cristalina,

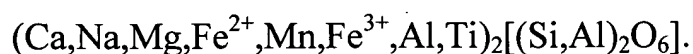
em que a dita pelo menos uma fase cristalina compreende cristalitos recém-formados dispersos na dita fase vidro.

2. Composição de acordo com a reivindicação 1, caracterizada
10 pelo fato de que a dita pelo menos uma fase cristalina compreende cristalitos que têm composições químicas consistentes com elementos dos seguintes grupos minerais: piroxeno, feldspato plagioclásio, wollastonita ou grupos sulfatos de minerais.

3. Composição de acordo com a reivindicação 1, caracterizada
15 pelo fato de que a dita pelo menos uma fase cristalina compreende cristalitos que têm concentrações de cálcio, magnésio e ferro consistentes com composições químicas que particularizam os elementos do grupo piroxeno de minerais.

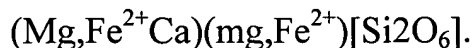
4. Composição de acordo com a reivindicação 1, caracterizada
20 pelo fato de que a dita pelo menos uma fase cristalina compreende cristalitos que têm composição química consistente com elementos do grupo piroxeno de minerais que têm a composição química $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$.

5. Composição de acordo com a reivindicação 1, caracterizada
25 pelo fato de que a dita pelo menos uma fase cristalina compreende cristalitos que têm composição química consistente com elementos do grupo piroxeno de minerais que têm a composição química



6. Composição de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a dita pelo menos uma fase cristalina compreende cristalitos

que têm composição química consistente com elementos do grupo piroxeno de minerais que têm a composição química



7. Composição de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a dita pelo menos uma fase cristalina compreende cristalitos que têm composição química consistente com elementos do grupo piroxeno de minerais que têm a composição química $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})[\text{Si}_2\text{O}_6]$.

8. Composição de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a dita pelo menos uma fase cristalina compreende CaSO_4 anidro.

9. Composição de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a dita pelo menos uma fase cristalina compreende cristalitos que têm características morfológicas ripadas consistentes com elementos do grupo piroxeno de minerais.

10. Composição de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a dita pelo menos uma fase cristalina compreende cristalitos que têm características morfológicas maciças equantes consistentes com elementos do grupo piroxeno de minerais.

11. Composição de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a dita pelo menos uma fase cristalina compreende cristalitos que ocorrem tanto sozinhos como em agrupamentos.

12. Composição de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a dita fase vidro é heterogênea e compreende alumínio, silício e concentrações menores de cátions.

13. Composição de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a dita fase clasto é parcialmente dissolvida e compreende clastos primários remanescentes derivados dos constituintes da carga de alimentação original; e em que a dita pelo menos uma fase cristalina compreende cristalitos secundários recém-formados de uma massa fundida.

14. Composição de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que a dita pelo menos uma fase cristalina compreende cristalitos que têm composição química consistente com elementos do grupo piroxeno de minerais que têm as composições químicas

5 (Mg,Fe²⁺)₂[Si₂O₆] e (Ca,Na,Mg,Fe²⁺Mn,Fe³⁺,Al,Ti)₂[(Si,Al)₂O₆].

15. Composição de acordo com a reivindicação 14, caracterizada pelo fato de que a dita fase clasto é parcialmente dissolvida e compreende grãos primários remanescentes derivados dos constituintes da carga de alimentação original; e em que a dita pelo menos uma fase cristalina

10 compreende cristalitos secundários recém-formados de uma massa fundida.

16. Composição, caracterizada pelo fato de que compreende, em combinação, uma mistura fundida que tem:

uma fase clasto;

uma fase vidro heterogênea compreendendo alumínio, silício e

15 quantidades menores de cátions; e

uma pluralidade de fases cristalinas recém-formadas,

em que a dita pluralidade de fases cristalinas recém-formadas é dispersa na dita fase vidro e compreende cristalitos que têm composição química consistente com os elementos do grupo piroxeno de minerais que tem

20 as composições químicas (Mg,Fe²⁺)₂[Si₂O₆], (Ca,Na,Mg,Fe²⁺,Mn,Fe³⁺,Al,Ti)₂[(Si,Al)₂O₆], (CaSO₄) e (FeTiO₃).

17. Composição de acordo com a reivindicação 16, caracterizada pelo fato de que a dita fase clasto é parcialmente dissolvida em compreende clastos primários remanescentes derivados dos constituintes da

25 carga de alimentação original; e

em que a dita pluralidade de fases cristalinas recém-formadas compreende cristalitos secundários recém-formados de uma massa fundida.

18. Composição, caracterizada pelo fato de que compreende, em combinação, uma mistura fundida que tem:

uma fase clasto;

uma fase vidro heterogênea compreendendo alumínio, silício e quantidades menores de cátions; e

uma pluralidade de fases cristalinas recém-formadas,

5 em que a dita pluralidade de fases cristalinas recém-formadas é dispersa na dita fase vidro e compreende cristalitos que têm concentrações de constituintes consistentes com os elementos do grupo piroxeno de minerais que têm as composições químicas $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$, $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})[\text{Si}_2\text{O}_6]$, (CaSO_4) e (FeTiO_3) .

10 19. Composição de acordo com a reivindicação 18, caracterizada pelo fato de que a dita fase clasto é parcialmente dissolvida e compreende clastos primários remanescentes derivados dos constituintes da carga de alimentação original;

15 em que a dita pluralidade de fases cristalinas recém-formadas compreende cristalitos secundários recém-formados de uma massa fundida.

20 20. Composição, caracterizada pelo fato de que compreende, em combinação, uma mistura fundida que tem:

clastos remanescentes;

uma fase vidro; e

20 uma pluralidade de fases cristalinas recém-formadas,

em que a dita pluralidade de fases cristalinas recém formadas compreende cristalitos dispersos na dita fase vidro.

25 21. Composição de acordo com a reivindicação 20, caracterizada pelo fato de que os ditos clastos remanescentes são monominerálicos e poliminerálicos.

22. Composição de acordo com a reivindicação 20, caracterizada pelo fato de que os ditos clastos remanescentes compreendem os minerais feldspato plagioclásio, piroxeno e cloreto degradado.

23. Composição de acordo com a reivindicação 20,

caracterizada pelo fato de que a dita fase vidro é heterogênea e compreende alumínio, silício e quantidades menores de cátions.

24. Composição de acordo com a reivindicação 23, caracterizada pelo fato de que os ditos cátions compreendem, em combinação, potássio, cálcio, sódio, magnésio e ferro.

25. Composição de acordo com a reivindicação 20, caracterizada pelo fato de que a dita pluralidade de fases cristalinas recém-formadas compreende cristalitos que têm composição química consistente com elementos do grupo piroxeno de minerais com as composições químicas (Ca,Na,Mg,Fe²⁺,Mn,Fe³⁺,Al,Ti)₂[(Si,Al)₂O₆] e (Mg,Fe²⁺Ca)(Mg,Fe²⁺)[Si₂O₆].

26. Composição de acordo com a reivindicação 20, caracterizada pelo fato de que a dita pluralidade de fases cristalinas recém-formadas compreende cristalitos que têm características morfológicas maciças equantes com composição química consistente com elementos do grupo piroxeno de minerais com as composições químicas (Ca,Na,Mg,Fe²⁺,Mn,Fe³⁺,Al,Ti)₂[(Si,Al)₂O₆] e (Mg,Fe²⁺Ca)(Mg,Fe²⁺)[Si₂O₆].

27. Composição, caracterizada pelo fato de que compreende, em combinação, uma mistura fundida que tem:

grãos de mineralóides e de mineral de quartzo e cinza remanescente;

uma fase vidro; e

uma pluralidade de fases cristalinas recém-formadas;

em que a dita pluralidade de fases cristalinas recém-formadas compreende cristalitos dispersos na dita fase vidro.

28. Composição de acordo com a reivindicação 27, caracterizada pelo fato de que a dita fase vidro é heterogênea e compreende, em combinação, alumínio, silício e quantidades menores de cátions.

29. Composição de acordo com a reivindicação 27, caracterizada pelo fato de que a dita pluralidade de fases cristalinas recém-

formadas compreende cristalitos com composição química consistente com a composição química ($\text{Ca}[\text{SiO}_3]$).

30. Composição de acordo com a reivindicação 27, caracterizada pelo fato de que a dita pluralidade de fases cristalinas recém-formadas compreende cristalitos de feldspato plagioclásio de forma ripada.

31. Composição de acordo com a reivindicação 27, caracterizada pelo fato de que a dita pluralidade de fases cristalinas recém-formadas compreende cristalitos de piroxeno.

32. Composição de acordo com a reivindicação 27, caracterizada pelo fato de que a dita pluralidade de fases cristalinas recém-formadas compreende cristalitos que têm a composição química (CaSO_4).

33. Composição, caracterizada pelo fato de que compreende, em combinação, uma mistura fundida que tem:

grãos de mineralóide e mineral remanescentes de quartzo e cinza;

uma fase vidro; e

uma pluralidade de fases cristalinas recém-formadas, em que a dita pluralidade de fases cristalinas recém-formadas compreende cristalitos que têm uma composição química ($\text{Ca}[\text{SiO}_3]$), cristalitos de feldspato plagioclásio de forma ripada, cristalitos de piroxeno, e cristalitos que têm a composição química (CaSO_4).

34. Rocha híbrida, caracterizada pelo fato de que é formada pelo processo de:

reciclar material residual selecionado do grupo que consiste em refugos de mina, cinza volante, cinza tipo detrito, escória, finos de pedreiras, ou limos; e

submeter os materiais de rejeito a pressão; e

submeter os materiais de rejeito a calor;

por meio do que os materiais de rejeito convertem a uma rocha

híbrida com característica de absorção de água menor que 7%.

35. Rocha híbrida de acordo com a reivindicação 34, caracterizada pelo fato de que a dita rocha híbrida tem absorção de água menor que 4%.

5 36. Rocha híbrida de acordo com a reivindicação 34, caracterizada pelo fato de que a dita rocha híbrida tem absorção de água menor que 1%.

10 37. Rocha híbrida de acordo com a reivindicação 34, caracterizada pelo fato de que a dita rocha híbrida tem absorção de água menor que 0,5%.

38. Rocha híbrida de acordo com a reivindicação 34, caracterizada pelo fato de que o material residual é distribuído a um aparelho de classificação para separar partículas de refugo de menor tamanho e de maior tamanho dos rejeitos de mina a ser processados.

15 39. Rocha híbrida de acordo com a reivindicação 38, caracterizada pelo fato de que, depois da classificação, o material residual é transferido para uma câmara rotativa aquecida.

20 40. Rocha híbrida de acordo com a reivindicação 39, caracterizada pelo fato de que o material residual na dita câmara rotativa aquecida passa por transformação química.

41. Rocha híbrida de acordo com a reivindicação 40, caracterizada pelo fato de que a dita transformação química do material residual compreende secagem, pré-aquecimento, combustão, desidratação, dessulfuração, decomposição e similares.

25 42. Rocha híbrida de acordo com a reivindicação 40, caracterizada pelo fato de que o material residual sai da dita câmara rotativa aquecida e passa por uma válvula antes de entrar em uma segunda câmara aquecida.

43. Rocha híbrida de acordo com a reivindicação 42,

caracterizada pelo fato de que a dita válvula é rotativa e capaz de deixar passar continuamente o material residual, mantendo simultaneamente um gradiente de pressão.

5 44. Rocha híbrida de acordo com a reivindicação 42, caracterizada pelo fato de que um vácuo é aplicado no material residual na dita segunda câmara aquecida.

10 45. Rocha híbrida de acordo com a reivindicação 42, caracterizada pelo fato de que o material residual sai da dita segunda câmara aquecida e é transferido adiante para uma terceira câmara aquecida posicionada dentro de um elemento de aquecimento.

46. Rocha híbrida de acordo com a reivindicação 45, caracterizada pelo fato de que pressão é aplicada no material residual na dita terceira câmara aquecida por um período de tempo predeterminado.

15 47. Rocha híbrida de acordo com a reivindicação 46, caracterizada pelo fato de que a dita rocha híbrida passa por um dispositivo de matriz e é removida da dita terceira câmara aquecida para uso subsequente, ou, alternativamente, encaminhada para câmaras aquecidas terminais para modificação adicional.

20 48. Processo para converter material residual em uma rocha híbrida, em que o material residual é selecionado do grupo que consiste em rejeitos de mina, cinza volante, cinza tipo detrito, escória, finos de pedreiras, ou limos, caracterizado pelo fato de que a absorção de água é menor que 7%, as etapas incluindo:

25 pressurizar os rejeitos de mina;
 aquecer os rejeitos de mina; e
 formar um artigo de fabricação útil, embora deformável.

49. Processo de acordo com a reivindicação 48, caracterizado pelo fato de que o material residual é aquecido e pressurizado dentro de uma câmara aquecida a uma temperatura otimizada com uma quantidade otimizada

de pressão por um período de tempo otimizado.

50. Processo de acordo com a reivindicação 49, caracterizado pelo fato de que o material residual é aquecido e pressurizado dentro da dita câmara aquecida a uma temperatura de aproximadamente 1.130 graus C por um período de tempo de aproximadamente 60 horas.

51. Processo de acordo com a reivindicação 49, caracterizado pelo fato de que, durante o aquecimento, o material residual é pressurizado a uma pressão de aproximadamente 350 psi (2,41 MPa).

52. Processo de acordo com a reivindicação 49, caracterizado pelo fato de que o material residual é resfriado a uma velocidade aproximada de 1 a 3 graus por minutos.

53. Processo de acordo com a reivindicação 49, caracterizado pelo fato de que o material residual é aquecido e pressurizado dentro da dita câmara aquecida a uma temperatura de aproximadamente 1.140 graus C por um período de tempo de aproximadamente 6 horas.

54. Processo de acordo com a reivindicação 53, caracterizado pelo fato de que, durante o aquecimento, o material residual é pressurizado a uma pressão de aproximadamente 300 psi (2,07 MPa).

55. Processo de acordo com a reivindicação 53, caracterizado pelo fato de que o material residual é resfriado a uma velocidade aproximada de 10 a 20 graus por minuto.

56. Processo de acordo com a reivindicação 49, caracterizado pelo fato de que o material residual é aquecido e pressurizado dentro da dita câmara aquecida a uma temperatura de aproximadamente 1.160 graus C por um período de tempo de aproximadamente 60 minutos.

57. Processo de acordo com a reivindicação 56, caracterizado pelo fato de que, durante o aquecimento, o material residual é pressurizado a uma pressão oscilante entre aproximadamente 30 psi e 160 psi (0,21 MPa e 1,1 MPa).

58. Processo de acordo com a reivindicação 56, caracterizado pelo fato de que o material residual é resfriado a uma velocidade de aproximadamente 5 a 15 graus C por minuto.

5 59. Processo de acordo com a reivindicação 57, caracterizado pelo fato de que o material residual é submetido à dita pressão oscilante em um ambiente de vácuo parcial.

10 60. Processo de acordo com a reivindicação 49, caracterizado pelo fato de que o material residual é aquecido e pressurizado dentro da dita câmara aquecida a uma temperatura de aproximadamente 1.115 graus C por um período de tempo de aproximadamente 10 horas.

61. Processo de acordo com a reivindicação 60, caracterizado pelo fato de que, durante o aquecimento, o material residual é pressurizado a uma pressão de aproximadamente 300 psi (2,07 MPa).

15 62. Processo de acordo com a reivindicação 60, caracterizado pelo fato de que o material residual é resfriado a uma velocidade de aproximadamente 10 a 20 graus C por minuto.

63. Processo de acordo com a reivindicação 49, caracterizado pelo fato de que a dita rocha híbrida é extrusada em uma matriz para consolidar a dita rocha híbrida, formando assim um artigo de fabricação útil.

20 64. Rocha híbrida, caracterizada pelo fato de que seu componente constituinte primário de rejeitos de mina é modificado de forma a apresentar menor absorção de água em virtude de a matriz de vidro na qual os cristalitos estão distribuídos.

25 65. Rocha híbrida, caracterizada pelo fato de que seu componente constituinte primário de rejeitos de mina, ou materiais residuais de silicato são selecionados do grupo que consiste em rocha de lavra de mina, cinza volante, cinza tipo detrito, escória, finos de pedreiras ou limos;

a dita rocha híbrida sendo formada reciclando rejeitos de mina ou os materiais residuais de silicato, e submetendo os rejeitos de mina ou

materiais residuais de silicato a pressão, e submetendo os rejeitos de mina ou materiais residuais de silicato a calor, de forma a apresentar baixa absorção de água.

- 5 66. Rocha híbrida, caracterizada pelo fato de que compreende
uma fase granular parcialmente dissolvida compreendendo, em combinação:
rejeitos de mina remanescentes;
uma fase vidro; e
uma fase cristalina distribuída na dita fase vidro;
por meio do que a dita rocha híbrida apresenta baixa absorção
10 de água.

67. Rocha híbrida, caracterizada pelo fato de que seu
~~componente constituinte de rejeitos de mina ou materiais residuais de silicato~~
são selecionados do grupo que consiste em rocha de lavra de mina, cinza
volante, cinza tipo detrito, escória, finos de pedreiras ou limos;
15 uma fase vidro; e
 pelo menos uma fase cristalina distribuída na dita fase vidro;
 a dita rocha híbrida sendo formada pela recirculação de
rejeitos de mina ou dos materiais residuais de silicato, e submetendo os
rejeitos de mina ou materiais residuais de silicato a pressão, e submetendo os
20 rejeitos de mina ou materiais residuais de silicato a calor, para apresentar
baixa absorção de água.

68. Aparelho para formar rocha híbrida, caracterizado pelo
fato de que compreende, em combinação:
um dispositivo para pré-aquecer materiais residuais de silicato
25 selecionados do grupo que consiste em rejeitos de mina, rocha de lavra de
mina, cinza volante, cinza tipo detrito, escória, finos de pedreiras, ou limos;
um dispositivo para alimentar materiais residuais de silicato a uma câmara
aquecida; um dispositivo para aquecer a dita câmara aquecida; e uma
dispositivo para distribuir rocha híbrida de plástico de uma saída da dita

câmara aquecida.

5 69. Aparelho de acordo com a reivindicação 68, caracterizado pelo fato de que o dito dispositivo para pré-aquecer materiais residuais de silicato compreende uma câmara rotativa aquecida mantida a uma temperatura ideal para pré-aquecer e secar os materiais residuais de silicato sem fundir os materiais residuais de silicato.

10 70. Aparelho de acordo com a reivindicação 69, caracterizado pelo fato de que a dita câmara rotativa aquecida situa-se em um ângulo otimizado para facilitar a condução dos materiais residuais de silicato em direção a um conjunto de descarga.

71. Aparelho de acordo com a reivindicação 69, caracterizado pelo fato de que a dita câmara rotativa aquecida é opcionalmente fixa com uma entrada de gás e suspiro para a respectiva entrada e remoção de ar, gases e similares.

15 72. Aparelho de acordo com a reivindicação 69, caracterizado pelo fato de que a dita temperatura ideal da dita câmara rotativa aquecida é aproximadamente 800 a 1.000 graus C.

20 73. Aparelho de acordo com a reivindicação 68, caracterizado pelo fato de que o dito dispositivo para alimentar materiais residuais de silicato na dita câmara aquecida compreende uma prensa de capacidade dupla acionada por força axial ou rotacional.

74. Aparelho de acordo com a reivindicação 73, caracterizado pelo fato de que o dito conjunto de prensa é acionado por força hidráulica.

25 75. Aparelho de acordo com a reivindicação 68, caracterizado pelo fato de que o dito dispositivo para aquecer a dita câmara aquecida compreende montar a dita câmara aquecida em um elemento de aquecimento que envolve substancialmente a dita câmara aquecida.

76. Aparelho de acordo com a reivindicação 75, caracterizado pelo fato de que o dito elemento de aquecimento compreende um desenho de

tubo dividido e é construído com múltiplas zonas de temperatura nele todo.

77. Aparelho de acordo com a reivindicação 75, caracterizado pelo fato de que o dito elemento de aquecimento fornece calor por meio de aquecedores de resistência elétrica, combustão de gás e similares.

5 78. Aparelho de acordo com a reivindicação 68, caracterizado pelo fato de que o dito dispositivo para distribuir rocha híbrida de plástico de uma saída da dita câmara aquecida compreende um dispositivo de resistência de pressão para consolidar o dito material de rocha híbrida de plástico; e um
10 dispositivo de matriz com uma abertura que permite que o dito material de rocha híbrida de plástico passe através dela.

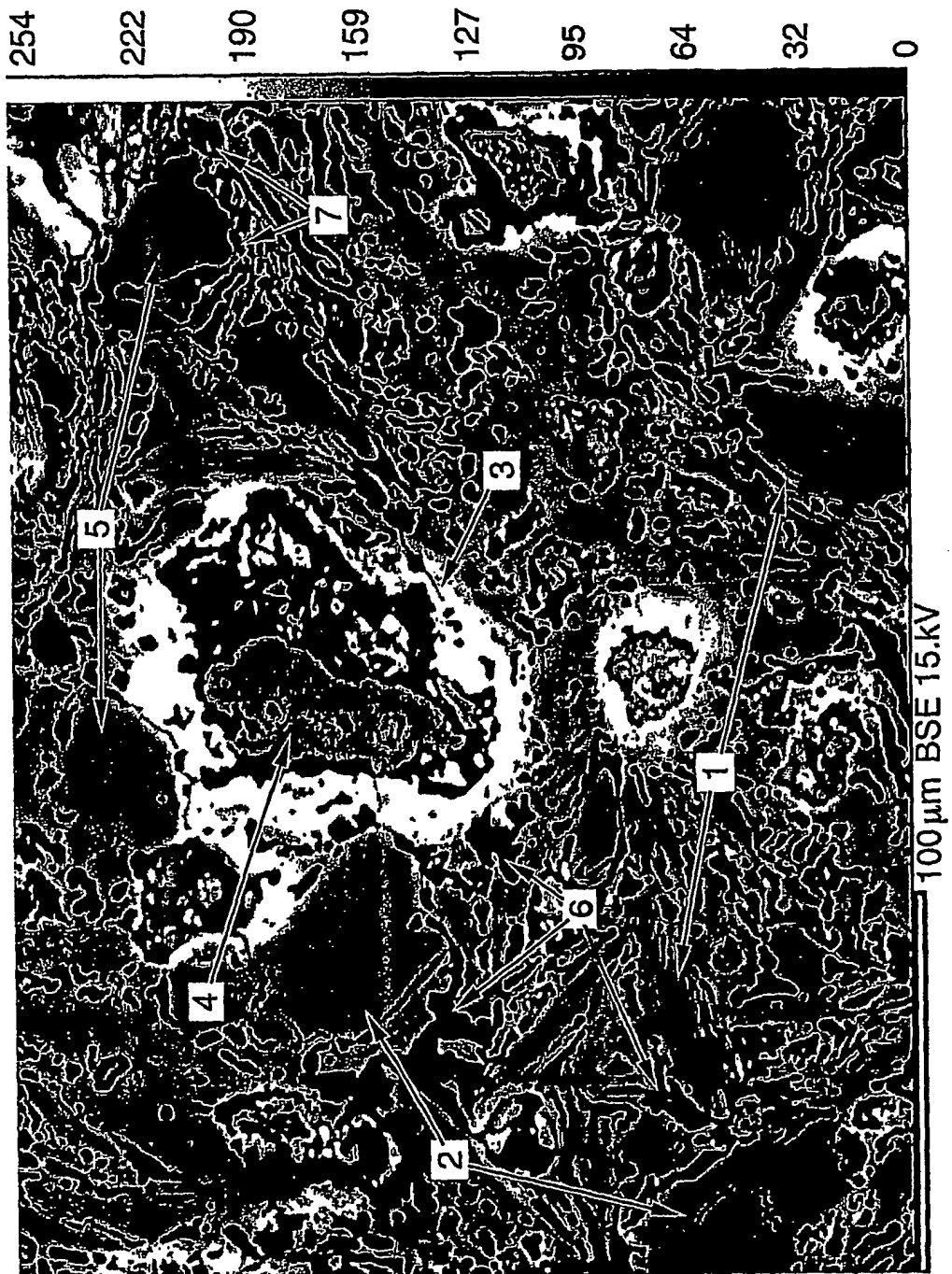


FIG. 1

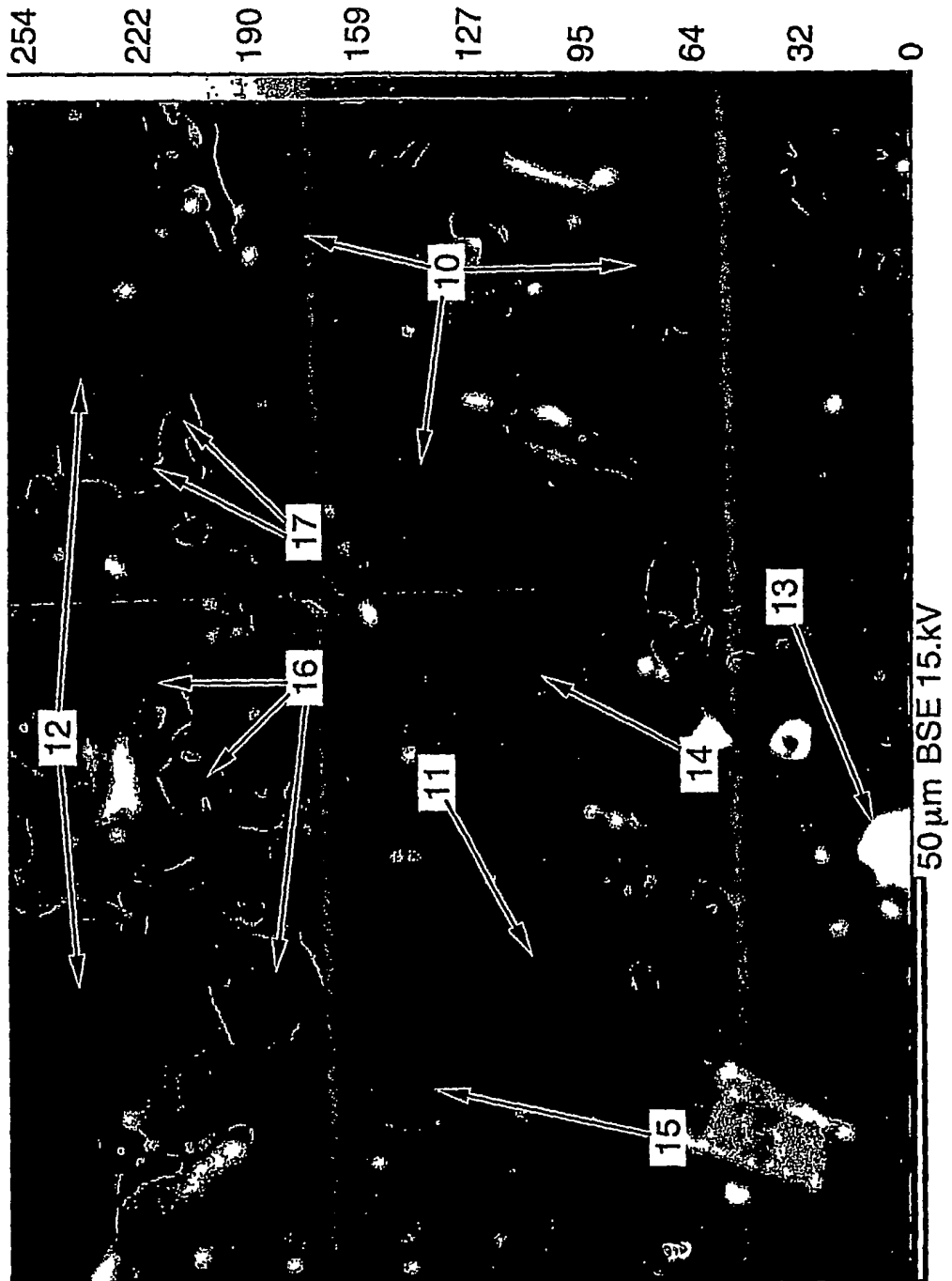


FIG. 2

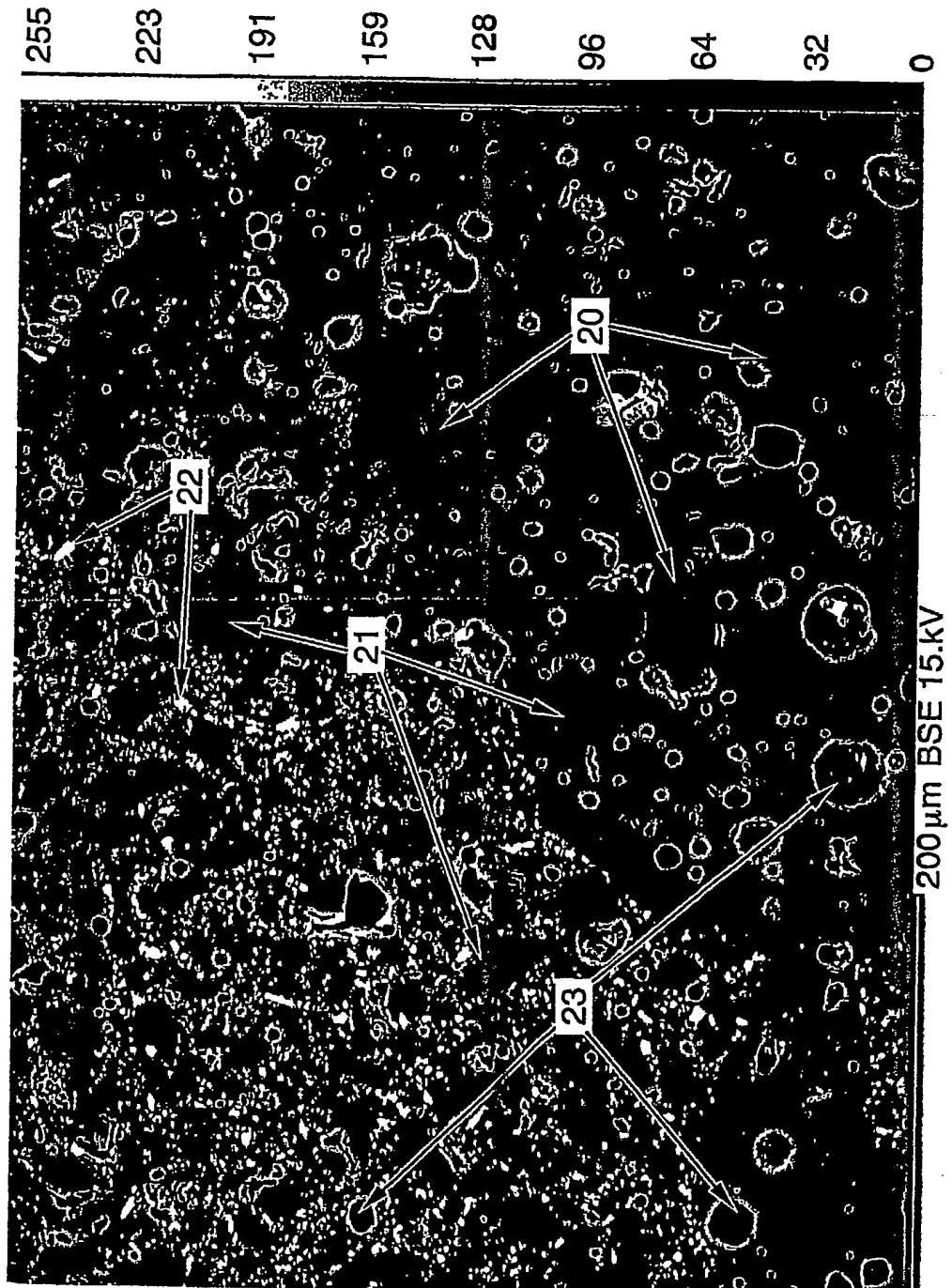


FIG. 3

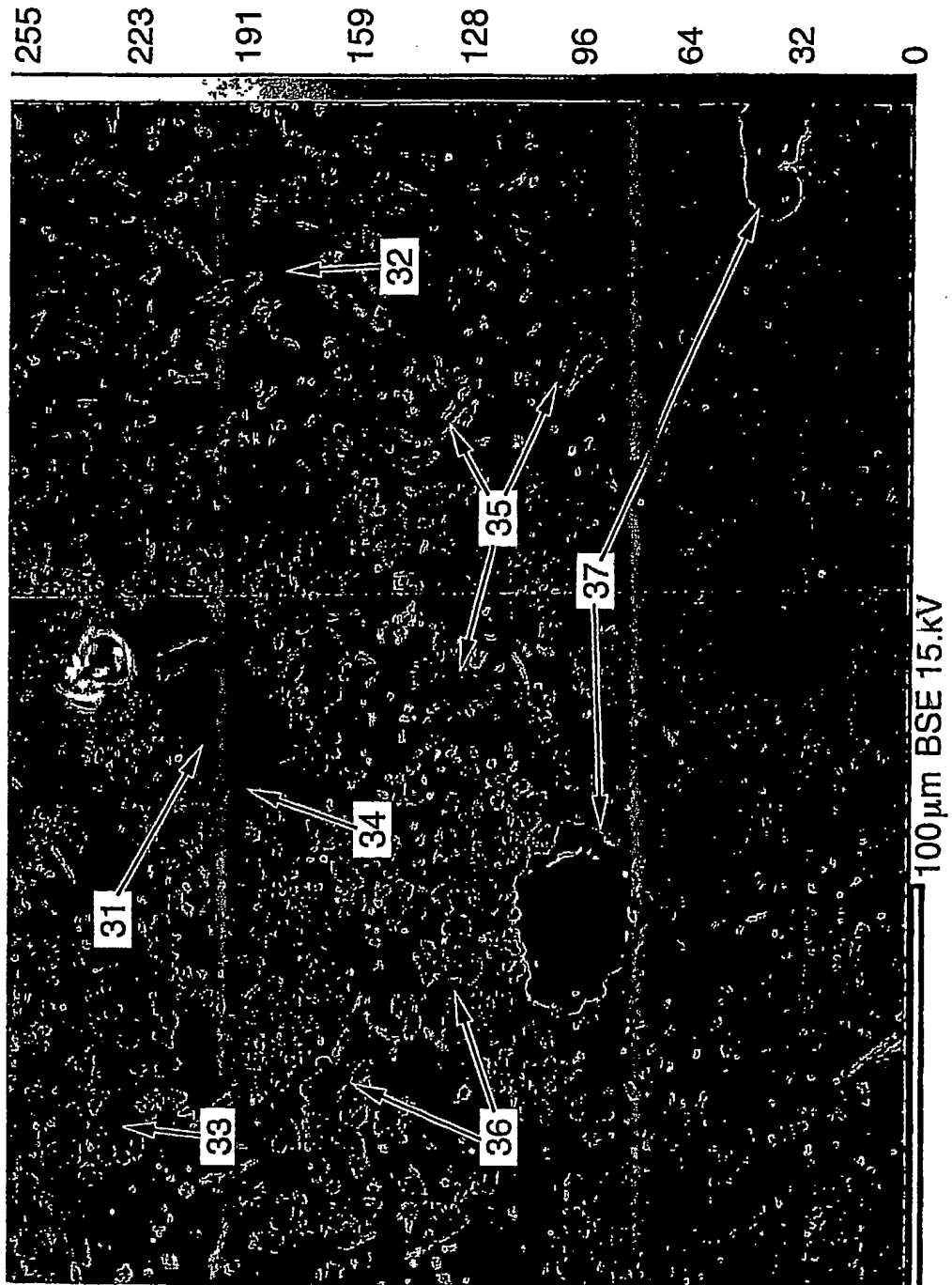


FIG. 4

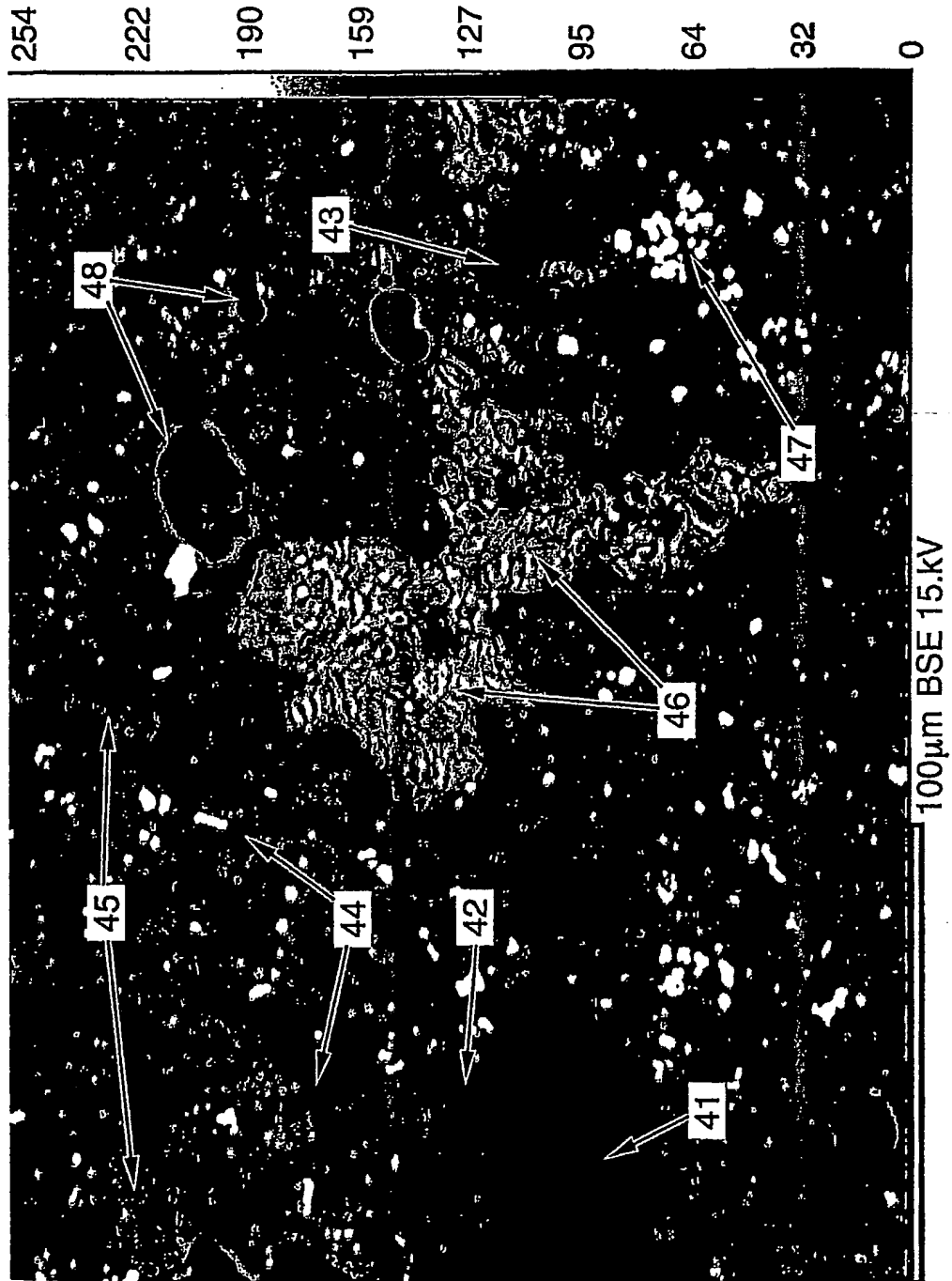


FIG. 5

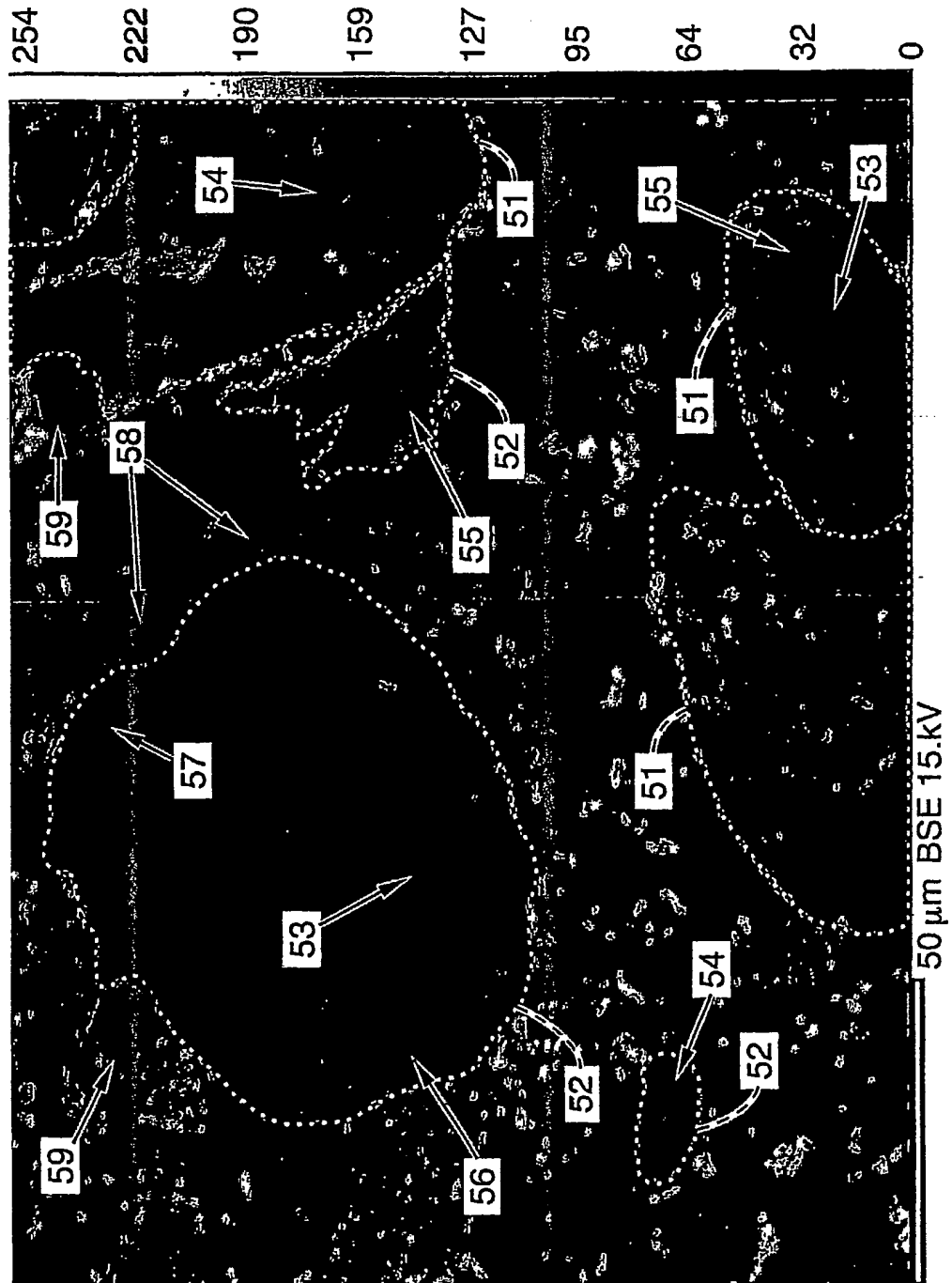


FIG. 6

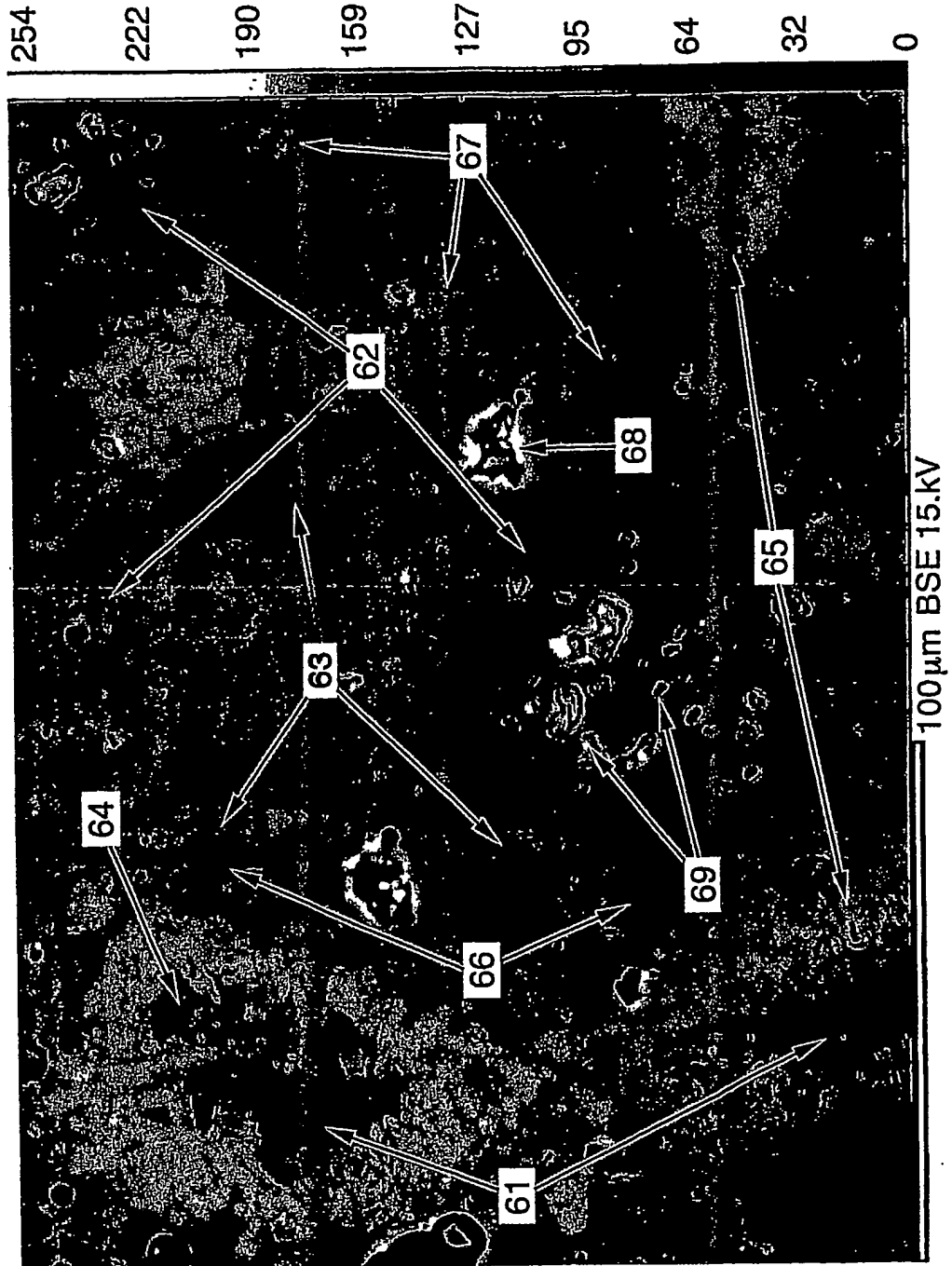


FIG. 7

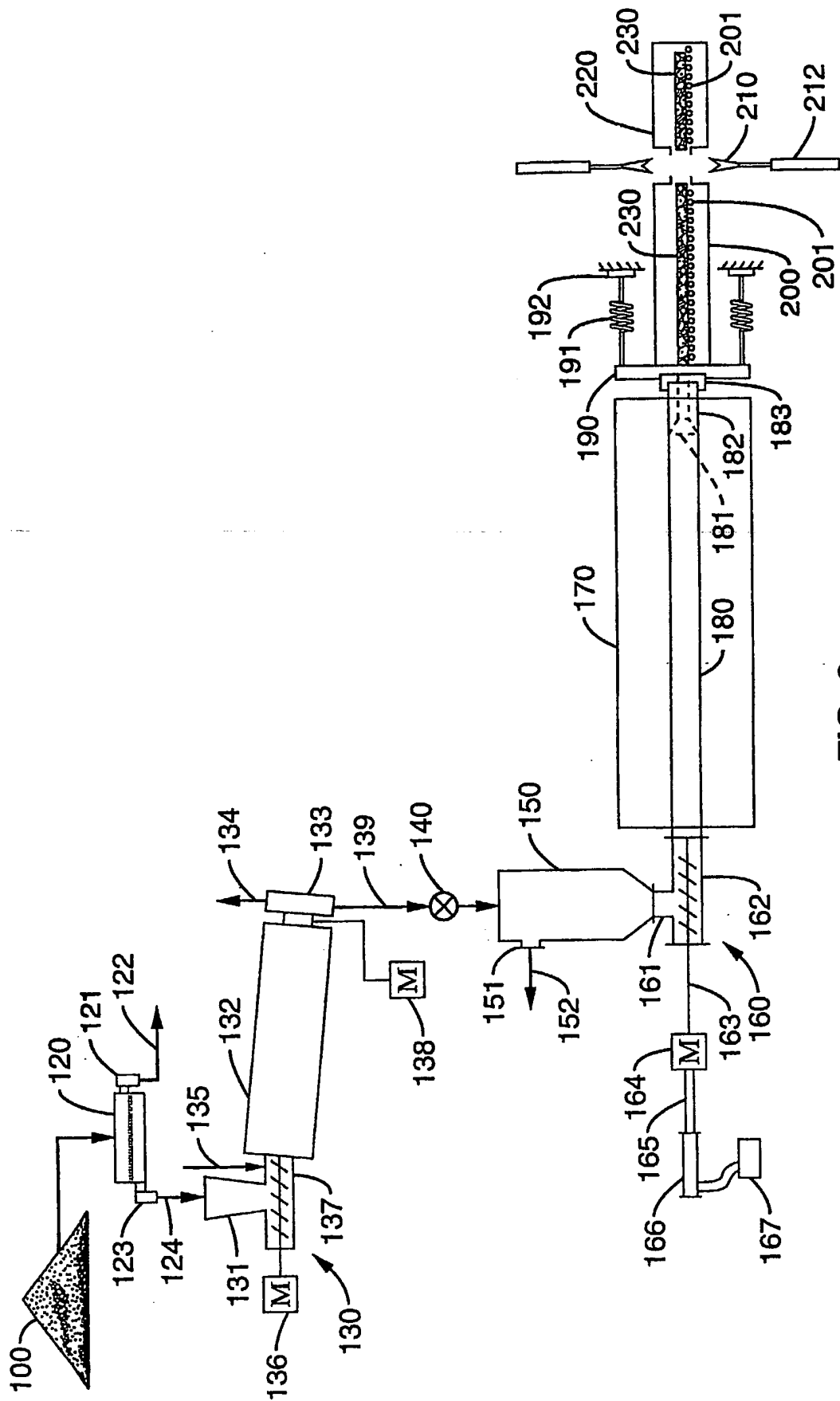


FIG. 8

RESUMO

“COMPOSIÇÃO, ROCHA HÍBRIDA, PROCESSO PARA CONVERTER MATERIAL RESIDUAL EM UMA ROCHA HÍBRIDA, E, APARELHO PARA FORMAR ROCHA HÍBRIDA”

5 A invenção diz respeito a composições de rocha híbrida sintética, artigos de fabricação e processos relacionados que empregam materiais de partida de resíduo mineral, tais como rejeitos de mina, rocha de lavra de mina, cinza, escória, finos de pedreiras e limos, para produzir artigos de fabricação de valor e produtos, que são caracterizados por características
10 físicas e estruturais superiores, incluindo baixa porosidade, baixa absorção, maior resistência e durabilidade, e plasticidade retida. Os materiais resultantes são composicionalmente e quimicamente distintos de materiais de rocha sintética convencionais, demonstrado pela análise de microsonda eletrônica de varredura, e são usados em uma ampla variedade de aplicações,
15 particularmente com relação a construção comercial e residencial.