

UTILIZAÇÃO DA PRÉ-SINTERIZAÇÃO DAS COMPOSIÇÕES DE WC-CO E SUAS VARIANTES PARA USINAGEM CONVENCIONAL EM PEÇAS SINTERIZADAS

FÁBIO JONES CRUCILLO RAMOS - VINICIUS MARTINS - JULIANA DAGNESE - LÍRIO SCHAEFFER
WILSON CORREA RODRIGUES - MARCIO JOSÉ TORRES DE PAULA - DIEGO PACHECO WERMUTH

As peças sinterizadas vem sendo largamente utilizadas em diversos ramos da indústria, desde a fabricação de eletrodomésticos, autopeças, instrumentos cirúrgicos, armamentos, artigos esportivos, ferramentas entre outros. Embora a indústria automobilística continue sendo a maior consumidora desta tecnologia (1).

O estudo discorre sobre a utilização da pré-sinterização dos compósitos de WC-6Co, WC-10Co, WC-20Co, WC-6Co-6Ni e WC-6Co-12Ni para permitir a usinagem convencional em peças sinterizadas. Os objetivos são estudar os parâmetros de compactação, avaliar as propriedades mecânicas das amostras pré-sinterizadas, efetuar usinagem das peças pré-sinterizadas, validar as curvas de sinterização, analisar a qualidade das propriedades mecânicas das peças sinterizadas após o processamento destes materiais.

O processo de pré-sinterização é utilizado com objetivo de dar resistência mecânica uma peça que será sinterizada posteriormente. Este é realizado antes da sinterização porque após o material adquire propriedades mecânicas de alta dureza, o que dificulta a usinagem por processos convencionais.

O processo de sinterização consiste em conformar pós de metais, ligas metálicas e substâncias não-metálicas ou cerâmicas em peças resistentes, comprimindo estes pós no interior de uma ferramenta com formato desejado obtendo um "compactado à verde" por pressão mecânica e

posterior aquecimento em forno apropriado. As peças fabricadas por metalurgia do pó possuem certa porosidade, que pode ser controlada através de fatores como pressão de compactação, temperatura e tempo de sinterização, tamanho e forma das partículas do pó, etc. A peça pronta apresenta bom acabamento e boas tolerâncias dimensionais (2).

A metalurgia do pó, por sua vez, objetiva transformar sem fusão efetiva, pós metálicos ou não metálicos usando pressão e calor, através de um tratamento térmico de sinterização, que se realiza a temperatura inferior ao ponto de fusão do material base do componente ou peça, permitindo obtê-los na sua forma final ou próximo dela (near-net or net-shape) (3).

As etapas fundamentais que compõem o processo de metalurgia do pó perpassam pela obtenção dos pós, onde os principais processos são atomização à água e gás, moagem, mechanical alloying, eletrólise e métodos químicos, incluindo a redução de óxidos, entre outros (3), (4). Nas misturas dos pós, se obtém o controle das ligas que se deseja e também é onde o lubrificante é adicionado a fim de diminuir o atrito das partículas de pó entre si e o atrito destas com o ferramental de compactação (5).

A compactação, por sua vez, é a conformação dos pós pela aplicação de pressão uniaxial ou biaxial em ferramentas apropriadas, geralmente, em temperatura ambiente. Na compactação, dependem das propriedades mecânicas requere-

ridas, o aumento da densidade pode ser obtido através de uma maior pressão de compactação (5). Por fim, na sinterização é dado um tratamento térmico que visa conferir o formato final das peças através da ligação atômica entre as partículas vizinhas. Este processo ocorre a uma temperatura abaixo da temperatura de fusão do metal base ou da liga metálica considerada, sob condições controladas de temperatura, tempo e atmosfera (6).

O compósito de WC e Co foram denominados de metal duro devido a sua elevada dureza e aparência metálica. Em alguns casos são adicionadas pequenas quantidades de outros carbeto para inibir o crescimento de grão do carbeto de tungstênio (WC) durante a sinterização (7). As características deste material são a alta dureza, resistência à compressão e ao desgaste. Como em todos os compósitos, as propriedades do metal duro dependem da combinação das propriedades de seus constituintes (carbeto e aglomerantes), para se obter as características requeridas (8).

O teor de carbono na composição é um aspecto importante, pois modifica as propriedades do metal duro. O teor de carbono no WC está entre 6,15 a 6,20% em peso, na fase ligante entre 0,10 e 0,18%. Para concentrações acima desses valores haverá a reprecipitação de carbono na forma de grafita livre (9).

O metal duro é o principal material usado como ferramenta de corte para e quase todas as operações de usinagem

(sob a forma de insertos), sobre tudo nas operações que requerem alta remoção de materiais e altas rotações, como brocas para furação profunda. Também existe aplicação para o metal duro em áreas como construção civil, automobilística (peças e ferramental), na indústria de mineração e gás, entre outras aplicações (10).

A pré-sinterização de metal duro é realizada na faixa de temperatura entre 700 e 980°C, serve para aumentar a resistência a verde, quando estas peças sofreram usinagem a verde. Devido a alta dureza do metal duro sinterizado que se situa em torno de 1500 HV, não é possível fazer a usinagem convencional em peças depois da sinterização. Quando as peças detêm certas complexidades e existe necessidade de uma usinagem antes da sinterização para chegar a peças semifinais (semi-acabada) ou seja, dimensionar o produto mais próximo da medida final. O processo de usinagem a verde visa conformar uma peça por arrancamento de material, quando esta peça está pré-sinterizada. Nesta etapa suas propriedades mecânicas são levemente mais resistentes do que uma peça simplesmente compactada. Quando as peças estão pré-sinterizadas é possível realizar qualquer usinagem convencional (11).

MATERIAIS E MÉTODOS

Decidiu-se trabalhar as características do processo de compactação e sinterização do metal duro na composição WC-6Co e de outras composições fabricadas a partir dela.

Para obtenção os compósitos desejados, trabalhou-se com a mistura industrial de WC-6Co adicionando por balanço de massa o pó de cobalto e o pó de níquel. Foram pesadas 100 gramas da mistura comercial de 94WC-6Co com uma balança de precisão. A partir do cálculo de balanço de massa determinou-se a quantidade de cobalto a ser adicionado à mistura comercial de 94WC-6Co para obtenção do 90WC-10Co e 80WC-20Co. Determinou-se a quantidade de níquel

a ser adicionado à mistura comercial de 94WC-6Co para obtenção dos metais duros 88WC-6Co6Ni e 82WC-6Co12Ni pelo cálculo de balanço de massa.

Após a obtenção dos pós, define-se a densidade aparente de um pó como a massa (g) de uma unidade de volume de pó solto ou a relação da massa para o volume, em g/cm³. A importância do conhecimento dessa característica reside no fato de que ela determina o verdadeiro volume ocupado por uma massa solta de pó e em consequência, determina a profundidade da cavidade da matriz e o comprimento do curso da prensa necessário para compactar e densificar o pó. Os valores de densidade aparente foram obtidos utilizando a cavidade da matriz de 50,0 mm de altura (h), com diâmetro de 14,0mm, preenchendo-a por completa com a mistura de pó solto, tendo um volume fixo de 7,69 cm³, em um formato de cilíndrico.

A compactação das amostras ocorreu em duas etapas distintas: A primeira através de uma matriz cilíndrica para obter as amostras dos corpos de prova para caracterização do comportamento de todos os compósitos. A segunda etapa ocorre em uma matriz toroidal para compreender o comportamento dos compósitos durante a fabricação dos corpos de prova para a fabricação dos anéis do selo. O ferramental de compactação é uma matriz de 30 mm de diâmetro interno (Ø) e 50,0 mm de altura (h) juntamente com o pino macho de 20 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento, o punção inferior de 20 mm e o punção superior de 60 mm de altura, os dois punções com diâmetro externo de 30 mm e diâmetro interno de 20 mm.

Para densidade à verde foram medidas as massas dos corpos de provas compactados em uma balança de precisão e mensurados através de um micrômetro, os diâmetros e alturas para calcular-se o volume. Utilizando a fórmula da densidade que relaciona o volume e a massa foi obtida a densidade a verde do compactado.

Definiu-se a curva de pré-sinterização para as amostras de metal duro, levando em consideração a taxa de aquecimento inferior a 10 °C/min. Outro aspecto considerado e mantido nas curvas convencionais foi o tempo efetivo de sinterização de 60 minutos. Da temperatura ambiente até o patamar térmico de 580°C foi utilizada uma taxa de aquecimento de 5,75°C por minuto, que serviu para eliminação do estearato de zinco (usado como lubrificante), de 580°C até o patamar térmico de pré-sinterização a temperatura de 980°C foi utilizado uma taxa de aquecimento de 5,3°C por minuto e foi utilizado atmosfera de argônio. A taxa média de resfriamento no forno tubular foi de 9,21°C por minuto, até a temperatura ambiente. A figura mostra a curva de pré-sinterização.

Curva de Pré-sinterização

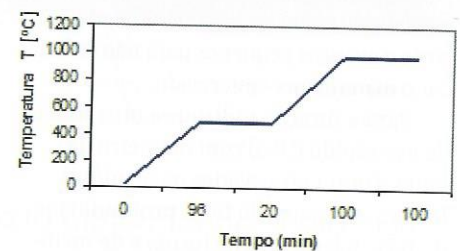


Figura 1 - Curva de pré-sinterização

A pré-sinterização melhora a resistência a verde permitindo que as peças sejam usinadas ou manipuladas. A fim de verificar essa característica, realizou-se o ensaio de compressão do material pré-sinterizado na prensa Eka com auxílio de uma célula de carga para obter a força de ruptura e o comprimento através de um LVDT (sensor de deslocamento).

Através da usinagem a verde foi possível aumentar a complexidade das amostras de metal duro. Devido à geometria dos anéis de selos mecânicos serem cilíndricos, optou-se por determinar parâmetros de usinagem a verde. As amostras pré-sinterizadas com formato cilíndrico de 14 mm de diâmetro foram selecionadas visando a economia da matéria-prima.

A primeira etapa da usinagem foi o

faceamento realizado em um torno mecânico universal da marca Nardini modelo MS1440E com placa de três castanhas onde foram fixadas as amostras, utilizou-se um suporte de ferramenta de 95°, pastilha de metal duro revestido através de PVD com nitreto de titânio. O Processo de faceamento da usinagem foi executada em duas etapas: a primeira é o desbaste, onde realizou-se a retirada da maior quantidade de material, tendo, portanto, uma profundidade de corte relativamente alta comparado com a etapa de acabamento e um avanço também alto ocasionando uma rugosidade alta na peça e, consequentemente, um acabamento superficial ruim. A segunda etapa é o acabamento, onde a quantidade de material a ser removido é pequena causando uma baixa rugosidade superficial consequentemente um bom acabamento superficial, tendo baixa profundidade de corte e avanços pequenos para não danificar o material pré-sinterizado.

Para a furação utilizou-se uma broca de aço rápido (HSS) com diâmetro de 6mm. Foram observados os seguintes fatores: diâmetro do furo, profundidade do furo, tolerâncias de forma e de medidas. As condições de operação da furação no pré-sinterizado de metal duro são relativamente severas, pois a velocidade de corte não é uniforme e varia desde zero no centro do furo até o diâmetro da broca com o material abrasivo, que determina o valor da velocidade de corte.

Durante a usinagem dos metais duros pré-sinterizados observou-se a necessidade de um dispositivo para ajudar a manter a integridade das peças, quando furadas. O projeto do dispositivo é em função de cada operação a ser usada e



Figura 2 - Dispositivo para furação a verde

geometria da peça. Utilizou-se o software de CAD 3D SolidWorks para projetar o dispositivo para efetuar a furação conforme exibe a figura 2.

RESULTADOS

O pó de WC-6%Co, 99% de pureza, -325 Mesh, serviu como matéria-prima. A Figura 2 (A) apresenta a micrografia do pó de WC-6Co que possui partículas menores do que 10 µm e estão aglomeradas. O pó de cobalto, 99% de pureza, -400 Mesh, serviu como matéria-prima sendo apresentado na Figura 2 (B) como aglomerado de partícula com tamanho menor que 10 µm. O pó de níquel, 99% de pureza, -400 Mesh, serviu como matéria-prima sendo apresentado na figura 3 (C) como aglomerado de partícula com tamanho menor que 5 µm. Todos os pós foram fornecidos pela empresa ALFA AESAR.

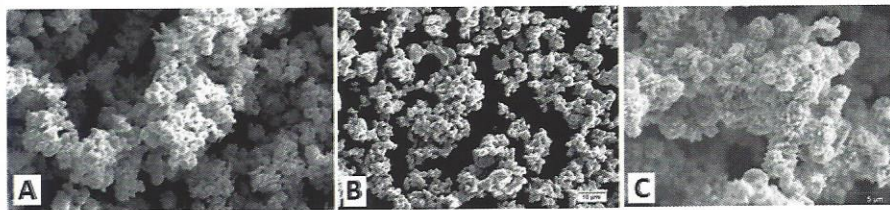


Figura 3 - Pó de WC-6Co (A), Pó de Cobalto (B) e Pó de Níquel (C)

A figura 4 mostra o gráfico do resultado do EDS do WC-6Co, confirmando a pureza do pó adquirido, já que não apresentou nenhum contaminante na composição.

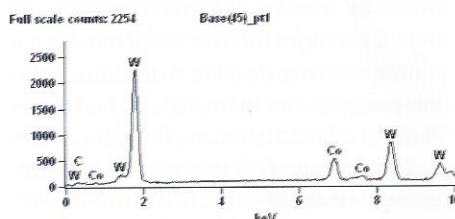


Figura 4 - Curva de análise do EDS.

A partir da liga pronta de WC-6Co determinou-se a densidade média aparente dos compósitos de metal duro, obtendo os valores em g/cm³, como mostra a

segunda coluna da tabela 1. Observa-se que a diminuição do valor da densidade aparente média é inversamente proporcional ao aumento percentual de aglomerante e nota-se que a densidade aparente ficou entre 2,45 e 2,63 g/cm³.

Composição do Metal Duro	Densidade Aparente (g/cm³)	Densidade à verde (g/cm³)
WC-6%Co	2,63 ± 0,02	8,02 ± 0,13
WC-10%Co	2,57 ± 0,04	7,80 ± 0,16
WC-6%Co6Ni	2,55 ± 0,03	7,62 ± 0,19
WC-6%Co12Ni	2,47 ± 0,03	7,11 ± 0,18
WC-20%Co	2,45 ± 0,02	7,03 ± 0,12

Tabela 1 - Composição do Metal Duro, Densidade Aparente e Densidade à Verde

As densidades à verde das composições de metal duro, tanto de formato cilíndrico como toroidais obtidas na

compactação são demonstradas na terceira coluna da tabela 1. Observa-se que a densidade média do compactado variou em função da quantidade de aglomerante metálico e que quanto maior o percentual de aglomerante menor o valor da densidade à verde.

Determinou-se uma curva rápida para pré-sinterização com o aquecimento e resfriamento típicos do forno utilizado, mantendo apenas a temperatura e tempo do patamar térmico igual à curva convencional. A figura 5 exibe a curva rápida do ciclo de pré-sinterização.

Após a pré-sinterização em atmosfera de argônio, mediram-se as densidades das amostras utilizando-se o micrômetro Mitutoyo e a balança de precisão. A segunda coluna da tabela 2 apresenta as

faceamento realizado em um torno mecânico universal da marca Nardini modelo MS1440E com placa de três castanhas onde foram fixadas as amostras, utilizou-se um suporte de ferramenta de 95°, pastilha de metal duro revestido através de PVD com nitreto de titânio. O Processo de faceamento da usinagem foi executada em duas etapas: a primeira é o desbaste, onde realizou-se a retirada da maior quantidade de material, tendo, portanto, uma profundidade de corte relativamente alta comparado com a etapa de acabamento e um avanço também alto ocasionando uma rugosidade alta na peça e, conseqüentemente, um acabamento superficial ruim. A segunda etapa é o acabamento, onde a quantidade de material a ser removido é pequena causando uma baixa rugosidade superficial conseqüentemente um bom acabamento superficial, tendo baixa profundidade de corte e avanços pequenos para não danificar o material pré-sinterizado.

Para a furação utilizou-se uma broca de aço rápido (HSS) com diâmetro de 6mm. Foram observados os seguintes fatores: diâmetro do furo, profundidade do furo, tolerâncias de forma e de medidas. As condições de operação da furação no pré-sinterizado de metal duro são relativamente severas, pois a velocidade de corte não é uniforme e varia desde zero no centro do furo até o diâmetro da broca com o material abrasivo, que determina o valor da velocidade de corte.

Durante a usinagem dos metais duros pré-sinterizados observou-se a necessidade de um dispositivo para ajudar a manter a integridade das peças, quando furadas. O projeto do dispositivo é em função de cada operação a ser usada e



Figura 2 - Dispositivo para furação a verde

geometria da peça. Utilizou-se o software de CAD 3D SolidWorks para projetar o dispositivo para efetuar a furação conforme se vê na figura 2.

RESULTADOS

O pó de WC-6%Co, 99% de pureza, -325 Mesh, serviu como matéria-prima. A Figura 2 (A) apresenta a micrografia do pó de WC-6Co que possui partículas menores do que 10 µm e estão aglomeradas. O pó de cobalto, 99% de pureza, -400 Mesh, serviu como matéria-prima sendo apresentado na Figura 2 (B) como aglomerado de partícula com tamanho menor que 10 µm. O pó de níquel, 99% de pureza, -400 Mesh, serviu como matéria-prima sendo apresentado na figura 3 (C) como aglomerado de partícula com tamanho menor que 5 µm. Todos os pós foram fornecidos pela empresa ALFA AESAR.

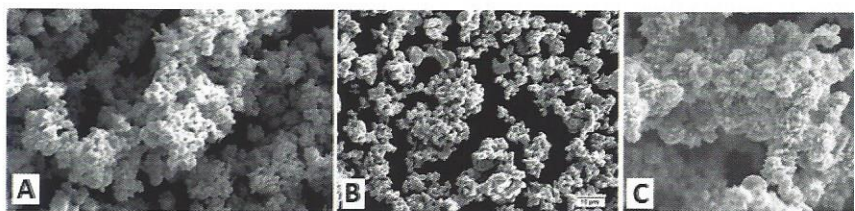


Figura 3 - Pó de WC-6Co (A), Pó de Cobalto (B) e Pó de Níquel (C)

A figura 4 mostra o gráfico do resultado do EDS do WC-6Co, confirmando a pureza do pó adquirido, já que não apresentou nenhum contaminante na composição.

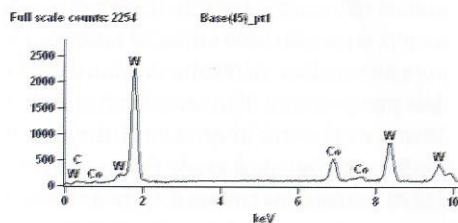


Figura 4 - Curva de análise do EDS.

A partir da liga pronta de WC-6Co determinou-se a densidade média aparente dos compósitos de metal duro, obtendo os valores em g/cm³, como mostra a

segunda coluna da tabela 1. Observa-se que a diminuição do valor da densidade aparente média é inversamente proporcional ao aumento percentual de aglomerante e nota-se que a densidade aparente ficou entre 2,45 e 2,63 g/cm³.

Composição do Metal Duro	Densidade Aparente (g/cm³)	Densidade à verde (g/cm³)
WC-6%Co	2,63 ± 0,02	8,02 ± 0,02
WC-10%Co	2,57 ± 0,04	7,80 ± 0,04
WC-6%Co6Ni	2,55 ± 0,03	7,62 ± 0,03
WC-6%Co12Ni	2,47 ± 0,03	7,11 ± 0,03
WC-20%Co	2,45 ± 0,02	7,03 ± 0,02

Tabela 1 - Composição do Metal Duro, Densidade Aparente e Densidade à Verde

As densidades à verde das composições de metal duro, tanto de formato cilíndrico como toroidais obtidas na

compactação são demonstradas na terceira coluna da tabela 1. Observa-se que a densidade média do compactado variou em função da quantidade de aglomerante metálico e que quanto maior o percentual de aglomerante menor o valor da densidade à verde.

Determinou-se uma curva rápida para pré-sinterização com o aquecimento e resfriamento típicos do forno utilizado, mantendo apenas a temperatura do patamar térmico igual à convencional. A figura 5 exibe a curva rápida do ciclo de pré-sinterização.

Após a pré-sinterização em atmosfera de argônio, mediram-se as densidades das amostras utilizando-se o micrômetro Mitutoyo e a balança de precisão. A segunda coluna da tabela 2 apresenta

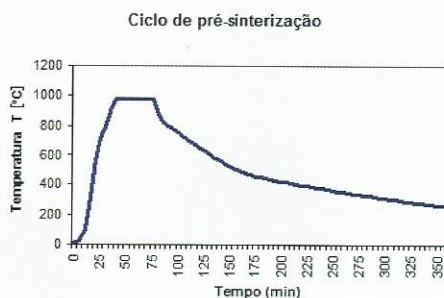


Figura 5 - Curva rápida de pré-sinterização

densidades dos compósitos no formato cilíndrico alcançados numa temperatura de pré-sinterização de 980°C. Em todas as composições de metal duro pré-sinterizadas de formato cilíndrico apresentaram uma contração volumétrica (retração volumétrica) de $2,12 \pm 0,15\%$ e contração linear (retração linear) de $1,1 \pm 0,1\%$. Para as amostras no formato em anel também foram mensuradas suas densidades utilizando o procedimento mencionado anteriormente. A terceira coluna da tabela 2 apresenta as densidades dos compósitos no formato de anel alcançados numa temperatura de pré-sinterização de 980°C.

Composições	Densidade pré-sinterizado (g/cm³) - Cilíndrico	Densidade pré-sinterizado (g/cm³) - Toroidal
WC-6Co	$8,08 \pm 0,10$	$8,13 \pm 0,12$
WC-10Co	$7,87 \pm 0,11$	$7,95 \pm 0,10$
WC-6Co-6Ni	$7,69 \pm 0,12$	$7,74 \pm 0,11$
WC-6Co-12Ni	$7,18 \pm 0,09$	$7,25 \pm 0,13$
WC-20%Co	$7,08 \pm 0,07$	$7,18 \pm 0,09$

Tabela 2 - Densidade Pré-sinterizado em Formato Cilíndrico e Toroidal

Todas as amostras de formato toroidal pré-sinterizadas independentemente da composição apresentaram uma contração volumétrica (retração volumétrica) de $3,2 \pm 0,15\%$ e contração linear (retração linear) de $1,4 \pm 0,1\%$. A figura 6 exibe a micrografia da amostra pré-sinterizada de WC-6Co a 980°C, onde observa-se que os carbeto de tungstênio estão envolvidos pelo

cobalto e não há definição de qualquer estrutura.

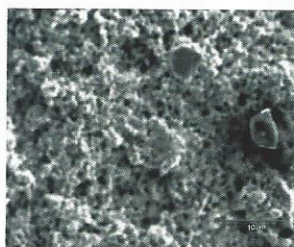


Figura 6 - Micrografia do WC - 6Co pré-sinterizado (3000x)

As amostras pré-sinterizadas de cada composição foram submetidas ao ensaio de compressão para determinar sua resistência mecânica a verde. A figura 7 apresenta a curva tensão x deformação das amostras pré-sinterizadas na composição WC-6Co.

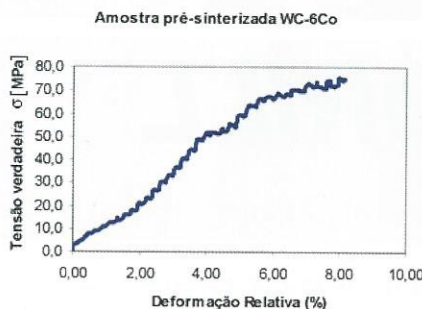


Figura 7 - Curva Tensão x Deformação WC-6Co

Observa-se na figura 7 que as amostras de WC-6Co romperam em 75,5 MPa de tensão de ruptura e 0,75 mm de deformação equivalente a 9,25%. Na figura 8 é possível verificar as amostras de WC-20Co romperam em 228,32 MPa de tensão de ruptura e 0,80 mm de deformação equivalente a 10,25%.

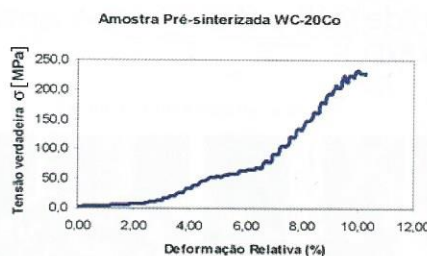


Figura 8 - Curva Tensão x Deformação

A tabela 3 demonstra que quanto mais aglomerante metálico tem a composição, maior é a deformação plástica e a tensão de ruptura, pois a temperatura de 980°C influencia na densificação das amostras pré-sinterizadas devido a suas composições com variados percentuais de aglomerantes.

As peças cilíndricas pré-sinterizadas foram usinadas por dois processos de usinagem em torno mecânico devido às diversas geometrias cilíndricas dos anéis de selos mecânicos. Realizaram-se os processos de faceamento e furação por apresentarem maior possibilidade de ocorrência durante a bricação industrial dos anéis.

Após a fixação da amostra na placa de três castanhas, escolheu-se seis rotações para realização do desbaste e acabamento. A figura 9 apresenta a peça de metal duro WC-6Co sendo faceada com 630 rpm e 0,053 mm/min.



Figura 9 - Faceamento da amostra pré-sinterizada.

Os parâmetros utilizados para a usinagem a verde variaram com a rotação entre 200 e 2000 rpm e a profundidade de corte entre 0,1 a 1 mm, o avanço foi fixado em 0,053 mm/min.

A profundidade e a rotação mostraram-se menos agressivas, pois permitiram o material ser usinado, não havendo a fragilização nem o rompimento das amostras. O avanço de 0,053 mm/min permite usinar com todas as rotações e profundidades de corte utilizadas no ensaio. Porém, é possível usinar com todas as profundidades de cortes até 800

Composição	Altura inicial (ho)	Altura Final (hf)	Deformação (ε) (%)	Tensão de ruptura (MPa)
WC-6Co	8,1	7,35	9,25	75,50
WC-10Co	8,0	7,25	9,37	103,85
WC-6Co-6Ni	8,4	7,60	9,52	127,58
WC-6Co-12Ni	8,2	7,40	9,75	208,65
WC-20Co	7,8	7,00	10,25	228,32

Tabela 3 - Deformação Plástica e Tensão de Ruptura das composições de Metal duro.

rpm tendo o avanço de 0,100 mm/min. Em 1000 rpm só é possível usinar com 0,5 mm de profundidade e com 2000 rotações a profundidade deve ser de no máximo 0,3mm, pois, acima destes valores ocorrem pequenas fissuras nas peças. As peças com avanço de 0,053 mm/min apresentaram o melhor acabamento superficial, que não foram mensurados devido à fragilidade da superfície, mas pode ser observada na figura 10 à direita.



Figura 10 - Amostras pré-sinterizadas e usinadas.

Após o faceamento da amostra, utilizou-se as rotações aplicadas na usinagem anterior para a realização da furação.

Após a realização do processo de usinagem a verde, as amostras foram sinterizadas e apresentaram acabamento superficial igual às peças apenas sinterizadas. A figura 11 apresenta a peça 1 que está pré-sinterizada e serve de matéria-prima para a execução da usinagem. A amostra 2 da figura 10 foi usinada e sinterizada, onde é visível a contração linear. A peça dois demonstra que a usinagem a verde é um processo importantíssimo para a permitir a usinagem convencional em peças de metal duro antes da sinterização final.

CONCLUSÕES

A densidade aparente dos compósitos de metal duro ficou entre 2,45 a 2,63 g/cm³, sendo estes valores confiáveis para desenvolver o projeto da ferramenta de compactação.

A densidade do pré-sinterizado apresentou uma contração volumétrica de $2,12 \pm 0,15$ a $3,2 \pm 0,15$ % e contração linear de $1,1 \pm 0,1$ a $1,4 \pm 0,1$ % demonstrando a razão do aumento da resistência à verde.

Com a composição do WC-6Co obteve-se melhor densidade do que as demais composições, sugerindo que o seu processo de fabricação influenciou neste resultado.

Os valores de dureza e microdureza das composições são semelhantes com os da literatura validando novamente o processo de balanceamento de massa para obtenção das composições e os processos de fabricação.

A microscopia eletrônica mostrou que as estruturas e micrografias dos compósitos estão de acordo com a literatura, tendo o WC-6Co apresentado uma rede concisa de carbeto envoltos por cobalto, já os outros apresentaram uma rede mais espaçada com pequenos lagos de aglomerante metálico, mas com alta resistência mecânica.

A análise de EDS demonstrou que durante o processo de fabricação dos compósitos não houve contaminação de impurezas ou outros elementos evidenciando a importância dos cuidados no processamento.

O ensaio de compressão apresentou deformações lineares que variaram de

9,25% 10,25 na altura e as tensões de ruptura de 75,5 até 228,32 em MPa em funções das composições estudadas. Estes valores estão de acordo com os valores encontrados na literatura.

Diante dos resultados obtidos e discutidos neste trabalho pode-se concluir que o procedimento de obtenção das composições foi eficaz devido à homogeneidade destas observadas no MEV. Também foi comprovada a importância do processo de pré-sinterização para permitir que processos de fabricação sejam otimizados, possibilitando o aumento da gama de formas através da usinagem convencional em peças sinterizadas.



Utilize o QR Code ao lado para acessar as referências bibliográficas do artigo

Fábio Jones Crucillo Ramos - Engenheiro Mecânico, Instituto Federal Sul-rio-grandense IFSul - Campus Sapucaia do Sul, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e Materiais (PPGEM). Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), Departamento de Metalurgia, UFRGS, Porto Alegre, RS. Coordenador de Gestão da Configuração na AEL Sistemas, Porto Alegre, RS, Brasil. fabiocrucilloramos@gmail.com

Vinicius Martins - Professor Doutor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul). viniciushiper@yahoo.com.br

Juliana Dagnese - Engenheira de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Lirio Schaeffer - Engenheiro Mecânico, Doutor em Conformação Mecânica. Professor Titular na UFRGS. Consultor ad hoc da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do RS (FAPERGS), da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), consultor do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Consultor da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ). schaeffer@ufrgs.br

Wilson Correa Rodrigues - Mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais e Graduação em Engenharia Metalúrgica pela UFRGS.

Márcio José Torres de Paula - Professor do SENAI/RS - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, São Leopoldo, RS, Brasil. Tecnólogo em Fabricação Mecânica, Instituto Federal Sul-rio-grandense IFSul. marciotosortorres3@gmail.com

Diego Pacheco Wermuth - Professor Mestre do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense (IFSul). Possui Mestrado no PPGEM/UFRGS Programa de Pós-Graduação em Eng. Minas, Metalúrgica e Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2015), graduação em Tecnologia de Fabricação Mecânica pelo Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (2012). diego.wermuth@ufrgs.br