

PRODUÇÃO DE FERRAMENTAS DE CORTE DE METAL-DURO PARA TORNEAMENTO A BASE DE FASE LIGANTES ALTERNATIVAS (Co, Ni) COM ADIÇÃO DE SiC

Fabrizio Giachetta Ferreira¹, fabrizio.ferreira17@aluno.unip.br

Fabio Miranda^{1,2}, fabio.miranda@docente.unip.br

Marcelo Otávio dos Santos^{2,3}, marcelo.santos@maua.br

Daniel Rodrigues⁴, daniel@brats.com.br

Gilmar Ferreira Batalha², gfbatalh@usp.br

¹ Universidade Paulista, ICET – Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia – São Paulo, SP – Brasil.

² Universidade de São Paulo, Escola Politécnica da USP, Dep. de Eng. Mecatrônica e de Sist. Mecânicos – São Paulo, SP – Brasil.

³ Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT) – Dep. de Eng. Mecânica – São Caetano do Sul, SP – Brasil.

⁴ BRATS – Filtros sinterizados e pós metálicos, Cajamar - SP - Brasil

Resumo: Devido ao crescimento das demandas de ferramentas de corte para aplicações de usinagem e à dependência da importação das matérias-primas críticas para fabricação de metais-duros, é vital desenvolver soluções alternativas para enfrentar o alto risco de restrições ao acesso de WC e Co e produtos que ofereçam os melhores desempenhos a um custo razoável. Este trabalho visa analisar o comportamento da dureza, densidade, contração linear e volumétrica e análise das microestruturas das novas ligas de metais-duros a base de fases ligantes alternativas (Co, Ni), com a adição de α -SiC com 0,6% e 1,2%, através de balanço de massa. Pastilhas, ou ferramentas de corte, estilo SMS E16 ou F6 da norma DIN 4966, para os compósitos WC-10(Co, Ni), WC-10(Co, Ni)-0,6SiC e WC-10(Co, Ni)-1,2SiC foram produzidos pela técnica da metalurgia do pó via sinterização por fase líquida, a 1420°C, a partir dos pós WC, Co, Ni e SiC menores que 10 μ m. A densificação foi estudada pelo método de Arquimedes. A análise da porosidade aparente via MO e microscopia eletrônica de varredura (MEV/EDS) para identificação dos microconstituintes, foram realizados. Além disso, foram realizados os ensaios de durezas pelas técnicas Rockwell (HRA) e Vickers (HV) por micro indentação. Os resultados evidenciaram que com o aumento do %SiC nas novas ligas de metais-duros, aumentaram de forma significativa as durezas e porosidades, devido as dissoluções parciais das partículas de α -SiC na fase ligante (Co, Ni).

Palavras-chave: Ferramentas de corte para torneamento; Metais-duros; Fases ligantes alternativas (Co, Ni), α -SiC; caracterização microestrutural e propriedades.

1. INTRODUÇÃO

O nome “Widia” foi escolhido pela empresa alemã *Fried Krupp* para designar o compósito com a composição de WC-6Co, sendo a origem da palavra de procedência alemã “Wie” e “Diamant”, como se fosse o diamante, este termo é utilizado até os dias atuais (Brookes, 1996; Kieffer e Schwarzkopf, 1960). O próprio termo “metal-duro” dá a entender que se trata de um material metálico, e vem do termo mais comumente utilizado na Europa (Fernandes e Seno, 2011), da tradução de “*Hardmetals*”. Já na América, o termo “*cemented carbides*” é mais popular, carbonetos sinterizados ou cimentados. A rigor, o metal-duro é um compósito, de matriz metálica, rica em WC com a fase ligante, que é o cobalto, com teor em massa ou volume muito menor do que o carboneto (Callister, 2012). A história dos materiais para ferramentas de corte começou no início do século XIX, com o surgimento dos aços de carbono. No século XX foram caracterizadas pelos surgimentos dos metais duros, cerâmicas e dos revestimentos metálicos PVD e CVD, nano-estruturados. As pesquisas contemporâneas estão focadas em novos metais duros, *Cermets* e combinações deste com multicamadas depositadas caracterizando uma nova geração de revestimentos duros, PCD e CBN (Kopac, 2015). Outro termo comumente utilizado, é o *Cermet*, que contém uma fase cerâmica e uma fase metálica (Diniz *et al.*, 2000), ou materiais heterogêneos através da combinação de metais e ligas metálicas com uma ou mais fases cerâmicas (Chiaverini, 2001). O *Cermet* consiste em partículas de WC misturadas com multicarbonetos M_xC_y numa matriz metálica de cobalto ou à base níquel (Bolelli *et al.*, 2012), são empregados os TiC, Al_2O_3 , TiN e/ou TiCN, ao invés dos compostos químicos que são utilizados nas ligas de WC-Co e WC-Ni que são TaC, NbC, Cr_2C_3 , HfC, VC. A fase ligante somente com níquel é o mais usado do que o cobalto (Diniz *et al.*, 2000). Os revestimentos metálicos para proteção ou resistência ao desgaste, craterização e abrasão, são aplicados para ferramentas, com velocidades de cortes muito elevadas, ou para usinagem a altas temperaturas. Assim, a partir desta definição, muitos pesquisadores consideram que os compósitos WC-Co e WC-Ni, são *Cermets*. No entanto, não é usual considerar as ligas WC-(Co, Ni) como sendo um *Cermet*, pois neste, a solubilidade entre as fases cerâmicas e metálicas é relativamente pequena (Chiaverini, 2001 e Gomes, 1995). O *Cermet* é menos tenaz, possui maior resistência ao desgaste de flanco de cratera, ou craterização, maior estabilidade química e

dureza a quente em altas temperaturas (Diniz *et al.*, 2000), enquanto que o metal duro (WC-Co) apresenta maior tenacidade e resistência ao impacto (Brookes, 1983 e 1996). O *Cermet* pode também ser recoberto com nitreto de titânio (TiN), tecnologia de deposição de revestimentos através do processo de PVD e CVD (Diniz et al, 2000; Brookes, 1996), o que reduz o seu coeficiente de atrito e a tendência à formação de aresta postiça de corte nos insertos de usinagem (Diniz et al, 2000) e a fase cerâmica é constituída de compostos como boretos, carbonetos óxidos, e carbono na forma de grafita ou diamante (Chiaverini, 2001).

Materiais comuns resistentes ao desgaste, tais como Ni e Co, juntamente com proporções variáveis de carbonetos são utilizados para melhorar a resistência ao desgaste em componentes de engenharia, combinando o carboneto com ligante metálico para formar um substrato de compósito WC-(Ni, Co). A mistura de Ni e Co é vantajosa, em alguns casos de aplicação de engenharia, a carga aplicada é transferida para a matriz metálica dúctil (tenacidade) e para a fase dura (WC), oferecendo assim alta resistência ao desgaste (Huang; Samandi; Brandt, 2004). A dureza para os metais duros a base de níquel, WC-Ni, em função da adição de reforços *whiskers nano-SiC* aumenta significativamente. Esse aumento pode ser atribuído também a um reforço sólido na solução, fase ligante, de níquel por silício (Xiaoyong *et al.*, 2013). O cobalto é um metal relativamente escasso, caro e prejudicial à saúde humana e devido a esses fatores, há uma preocupação crescente em restringir o seu uso a finalidades em que sua presença seja extremamente indispensável. Esse fato tem levado vários pesquisadores a investigar a substituição total ou parcial do cobalto por outros metais. Dentre os metais investigados, o níquel tem se mostrado o mais adequado para substituir o cobalto como fase ligante. No entanto, como este elemento, na etapa de sinterização, dissolve quantidades menores de W e C do que o cobalto, a liga Ni-W-C apresenta as propriedades de dureza e resistência inferiores àquelas verificadas no metal duro WC-Co.

O objetivo desta pesquisa é avaliar o comportamento das propriedades físicas e mecânicas dos novos insertos de metal-duro, com fase ligante alternativa de 10%(Co, Ni), em massa, na proporção 1:1 de Co e Ni em função da adição de Carboneto de Silício (SiC); para uma sinterização via fase líquida a 1420°C, com; substituindo parte do WC, 0,6% e 1,2%, em massa.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram produzidas três ligas de metal-duro utilizando os seguintes materiais: carboneto de tungstênio (WC) com 99,53% de pureza, cobalto eletrolítico (Co) com 99,9% de pureza e níquel carbonila (Ni) com 99,85% de pureza, materiais estes que foram fornecidos pela empresa Brats, Cajamar - SP e o material carboneto de silício (SiC com 97,0% de pureza), que foi fornecido pela empresa *Imerys Fused Minerals*, Salto - SP.

As características dos materiais utilizados neste trabalho, são apresentadas nas Fig. 1(a), (b), (c) e (d). As Fig. 1(a) e (b) são MEV dos particulados cerâmicos WC e SiC, respectivamente; e as Fig. 1(c) e (d), do Co e Ni, respectivamente, em que ambos pós metálicos irão constituir uma única fase ligante metálica, após a sinterização, na formação de um compósito com um teor de aproximadamente 10%, em massa.

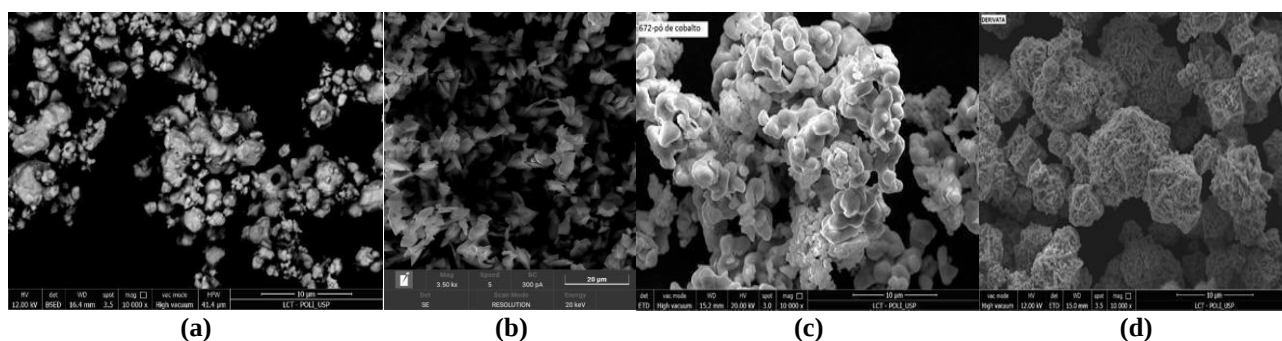


Figura 1. (a) MEV do pó do WC (10.000 x); (b) MEV do SiC (3.500 x); (c) MEV do pó de Co obtido (10.000 x) e (d) MEV do Ni em MEV (10.000 x).

Os carbonetos de WC e SiC juntamente com os pós metálicos (Co, Ni), como fases ligantes alternativas, foram misturados e homogeneizados por meio de um agitador convencional, de palhetas, durante 2 horas usando álcool isopropílico, a 3000 rpm e depois secado em estufa por 150 °C durante 3 horas. Para esta pesquisa, utilizou-se WC e SiC, com as fases ligantes Co e Ni, via balanço de massa, conforme apresentado na Tabela 1.

Após a finalização de todas as 3 misturas das ligas, separou-se uma pequena quantidade de pó misturado da liga WC-10(Co, Ni) -1,2SiC e realizou-se análise por MEV-EDS da mistura, conforme apresentadas nas Fig. 2 (a) e (b). Na Figura 2 (a), observa-se os particulados de WC, Co, Ni e SiC misturados, imagem foi obtida por BEI – *Backscattered Electron Image* (elétrons retroespalhados) e na Fig. 2(b) imagem SEI (elétrons secundários), na comparação de mesma imagem, Fig. 2(a), percebe-se a dificuldade na identificação dos particulados. Na Figura 2(c), é a imagem BEI, Fig. 2(a), ampliada para 10.000 vezes, é notável a identificação do α -SiC, particulado mais escuro, devido a sua baixa massa específica (3,2 g/cm³) quando comparada com a partícula mais clara, que é o WC (15,6 g/cm³) com grãos irregulares. O Ni (8,9 g/cm³)

possui um formato de esponja, com a cor cinza claro. As cores podem confundir o Co com o Ni, que possuem massa específica bem próximas, mas o que diferencia, é o formato do particulado.

Tabela 1. Procedimento experimental e composição química das amostras.

Designação das ligas		Balanço por massa (%)		
		Fases duras		Fase ligante metálica
		WC	SiC	(Co, Ni)
I	WC-10(Co, Ni)	90,0	-	10,0
II	WC-10(Co, Ni)-0,6SiC	89,4	0,6	10,0
III	WC-10(Co, Ni)-1,2SiC	88,8	1,2	10,0

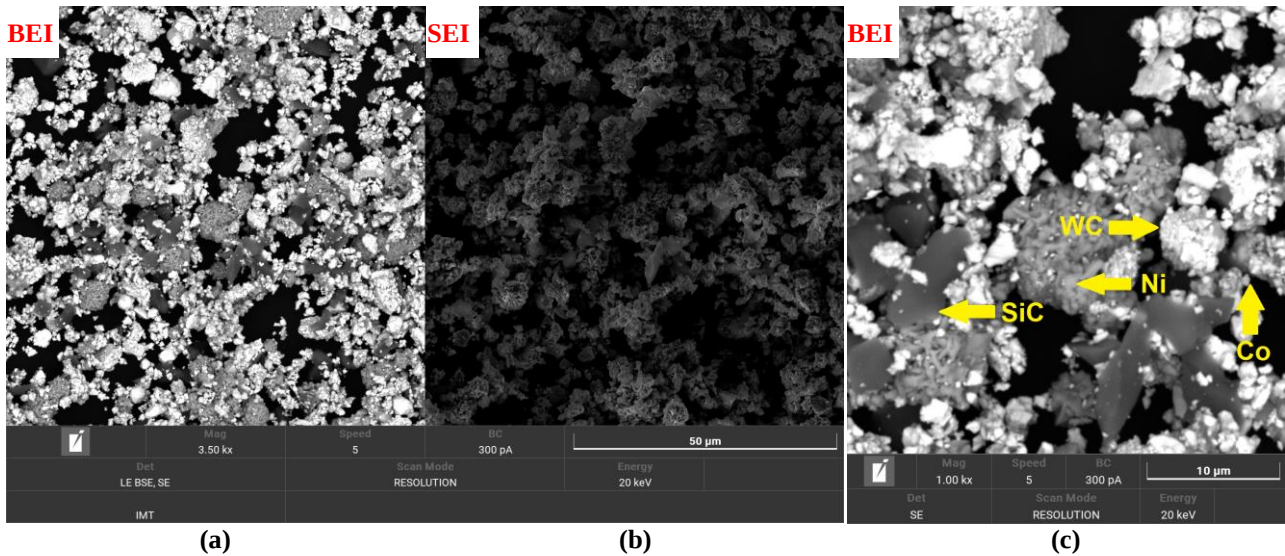


Figura 2. (A) BEI e SEI (B) e (C) – Identificação dos constituintes na mistura WC-10(Co, Ni)-1,2SiC.

O procedimento experimental partiu da confecção dos inserts de usinagem de metal-duro a partir de técnicas da metalurgia do pó, na empresa BRATS. A Fig. 3(a), apresenta a rota de processamento dos inserts de usinagem para as misturas com WC-10(Co, Ni) sem adição de SiC e com adição de SiC. Foram compactadas 12 inserts, para cada mistura, Fig. 4(a). A pressão de compactação unidirecional de ação simples, Fig. 3(b) foi realizada numa matriz de aço de 200 MPa, obtendo a geometria da pastilha conforme apresentada Fig. 4(b), estilo SMS E16 ou F6 da norma DIN 4966. Dos 12 inserts sinterizados, 10 (dez) pastilhas (de cada liga) serão dedicadas para o torneamento externo de um material ferroso e 2 inserts (de cada liga), foram direcionados para o ensaio de dureza e preparação metalográfica (controle metalúrgico).

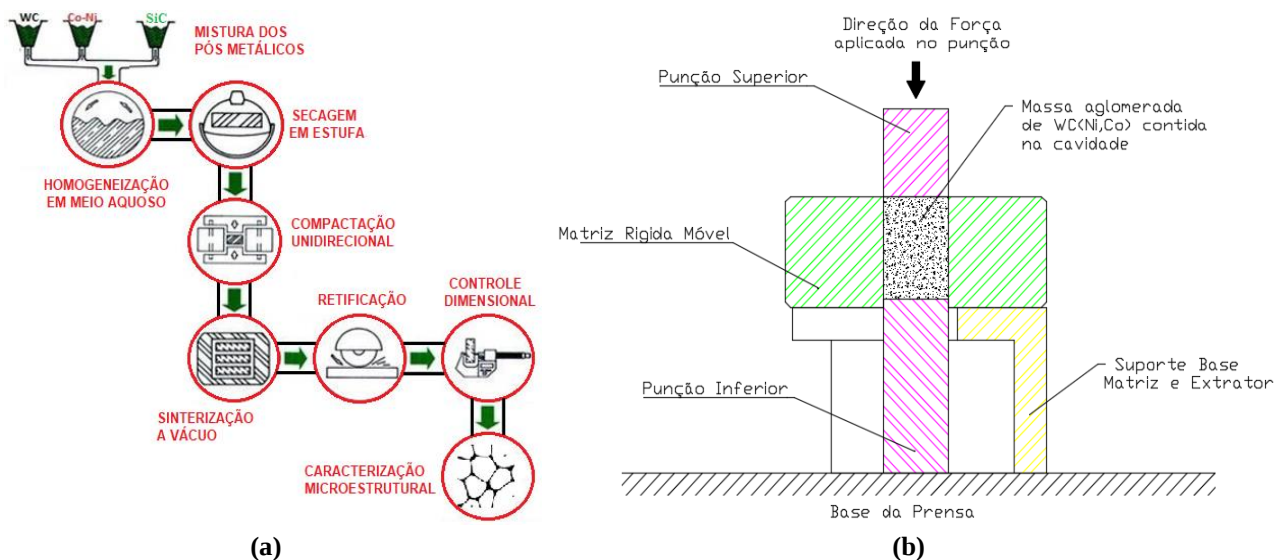


Figura 3. (a) Fluxograma da rota de fabricação de ferramentas de corte. Adaptado de Durit (2023) e (b) Figura esquemática da compactação de ação simples unidirecional dos inserts de usinagem estilo SMS E16 ou F6 DIN 4966.

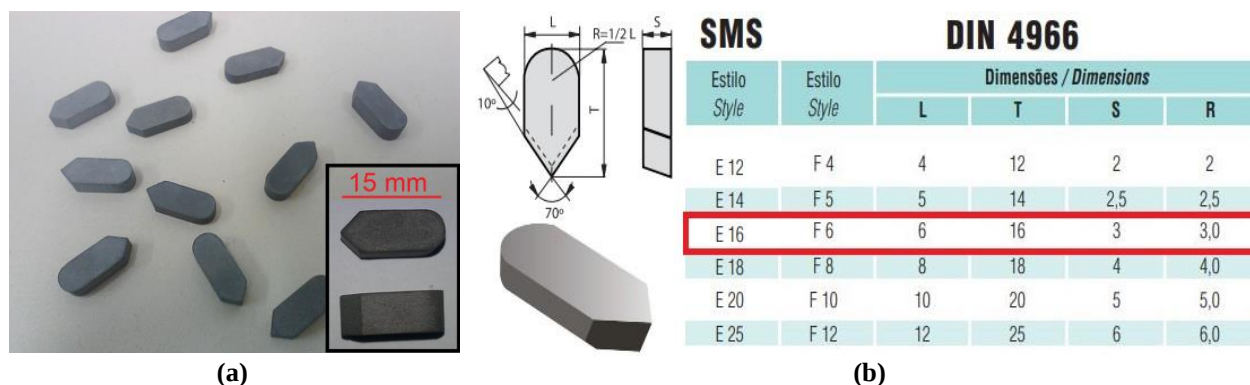


Figura 4. (a) Insertos de metal-duro sinterizados a vácuo e (b) dimensões dos insertos de solda SMS Estilo E 16 ou F6, adaptado do catálogo da Brassinter (2023) para operações de corte leve conforme norma DIN 4966.

Os compactados a verde, sem aglutinantes poliméricos, foram sinterizados em um forno a vácuo da empresa Brats Indústria e Comércio de Produtos Metálicos (Cajamar -SP), Fig. 5(a) e (b), com resistências a grafite. O ciclo de sinterização foi a vácuo (2×10^{-2} mbar) com uma taxa média de aquecimento de $10^\circ\text{C}/\text{minuto}$ até atingir a temperatura de 1420°C , estabilizando na mesma temperatura por 60 minutos e depois, passando por um resfriamento lento dentro do forno, Fig. 5(c).

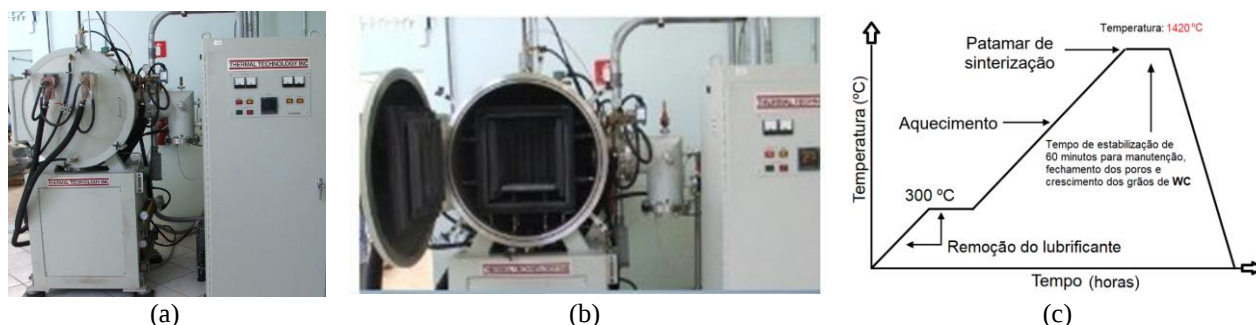


Figura 5. (a) e (b) Forno a vácuo com resistências a grafite da empresa BRATS, (c) ciclo de sinterização.

3. RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para as ligas desenvolvidas neste trabalho, sendo WC-10(Co, Ni), WC-10(Co, Ni)-0,6SiC e WC-10(Co, Ni)-1,2SiC, com suas respectivas massas específicas, ou densidades sinterizadas, contrações lineares e volumétricas; e por fim, o comportamento das durezas em função temperatura do teor de SiC, percentual em massa.

Tabela 2. Resultados obtidos das misturas WC-10(Co, Ni) para a temperatura de 1420°C e compactadas a 200 MPa.

Liga	Densidade sinterizada (g/cm^3)	Contração (%)		Durezas		Porosidade Aparente
		Linear	Volumétrica	(HRA)	(HV _{1,0})	
WC-10(Co, Ni)	$14,5 \pm 0,1$	$21,9 \pm 0,5$	$45,8 \pm 1,0$	$87,5 \pm 0,8$	1.312 ± 3	A02 B00 C00 (0,02% Vol.)
WC-10(Co, Ni)-0,6SiC	$14,3 \pm 0,1$	$24,8 \pm 0,3$	$38,7 \pm 1,4$	$88,0 \pm 1,0$	1.353 ± 6	A06 B02 C00 (0,2% Vol.)
WC-10(Co, Ni)-1,2SiC	$14,0 \pm 0,2$	$25,0 \pm 0,9$	$31,0 \pm 0,5$	$89,0 \pm 0,5$	1.378 ± 11	A08 B02 C00 (0,6% Vol.)

As massas específicas, ou densidade dos sinterizados foram determinadas e embasadas na norma ASTM B 311, específica para materiais de metalurgia do pó (PM) contendo menos de dois por cento de porosidade e para metais-duros. Este método de teste é baseado no método de deslocamento de água; a massa específica de corpos metálicos sinterizados vem a ser o seu peso por unidade de volume expresso em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3).

Sobre os ensaios de contrações lineares e a volumétricas, foram avaliadas e embasadas de acordo com a norma ASTM B-610. A alteração dimensional é determinada de forma quantitativa no qual a diferença aritmética entre as dimensões de uma cavidade de matriz e as dimensões de um corpo de prova sinterizado, produzido a partir dessa matriz, é calculada e

expressa como uma retração percentual ou contração. É uma prática usual dos pesquisadores, estudantes e profissionais da área de produtos e da tecnologia de sinterizados estabelecer a variação dimensional de um corpo de prova obtido após a sinterização e associar esta variação da peça ou produto que está em desenvolvimento com o desenho ou produto final, auxiliando os engenheiros e projetistas mecânicos, metalurgistas ou de materiais, na especificação do sobre material, a ser adicionado e favorecer o tempo de custo no processo de usinagem ou retificação final do produto (Chiaverini, 2001).

Para o ensaio de dureza, o teste de dureza Rockwell é um dos métodos mais importantes usados para avaliar os metais-duros, de acordo com norma ASTM B 294. Para grupos composicionais de metais-duros convencionais (WC-Co, com 6 a 30% de fase ligante, em massa), a dureza é uma indicação de resistência ao desgaste e tenacidade. Graus de dureza mais baixos geralmente indicam menor resistência ao desgaste, mas maior tenacidade. Este método, exige o uso de um durômetro, testador de ensaio na escala Rockwell HRA (escala regular, penetrador de diamante, força de teste preliminar de 10 kgf (98,07 N) e 60 kgf de carga total (588,4 N), na faixa acima de 80 HRA para os metais-duros.

No ensaio de dureza Vickers, pode-se utilizar a ASTM E 92 para esse teste, mas há uma outra norma, ASTM E 384, que trata do ensaio de dureza por micro indentação, Fig. 6(a). Nos casos dos metais-duros, nas maiorias das composições químicas, principalmente para ligas específicas utilizadas em ferramentas de corte, o penetrador Vickers geralmente produz uma indentação com diagonais semelhantes ou próximos dos valores, que resultam em valores próximos de 25 μm , considerando que a microestrutura seja razoavelmente homogênea. Para os metais-duros, isotrópicos, a duas diagonais são sempre iguais em tamanho, conforme apresentado na Fig. 6(b) e (c).

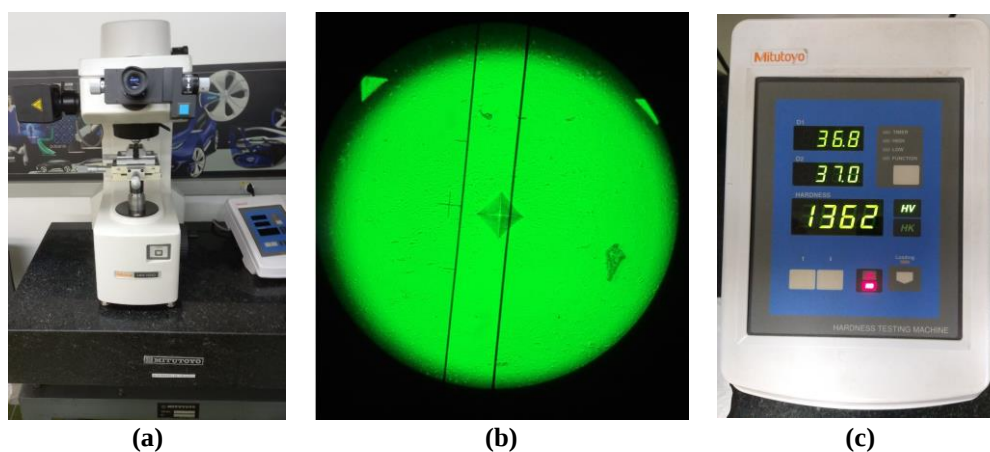


Figura 6. (a) Micro-durômetro do IMT (b) microindentação (c) Valores das diagonais d_1 e d_2 e o resultado automático da leitura do valor em Vickers para uma carga aplicada de 1kgf.

Foram realizadas análises de porosidade aparente das ligas, através do microscópio ótico (MO), conforme resultados demonstrados nas Figuras 7(a), (b) e (c), obtidos para a seção longitudinal, com objetivo de melhor visualização dos formatos e identificação dos tipos, e comparar com a norma ASTM B 276. Os metais-duros podem conter pequenos vazios, na escala micrométrica, que, dependendo da aplicação, podem afetar o desempenho do produto. Para ajudar os usuários a especificar o nível máximo de porosidade aceitável, este método da norma ASTM B 276, ilustra uma ampla faixa de níveis de porosidade para 3 (três) tipos de porosidades: do Tipo A – abrangendo tamanhos de poros abaixo de 10 μm em diâmetro; do Tipo B – compreendendo tamanhos entre 10 e 40 μm ; e do Tipo C – Porosidade desenvolvida pela presença de carbono livre em excesso ou não combinado, caracterizando-se pela superfície de poros irregulares e fragmentadas.

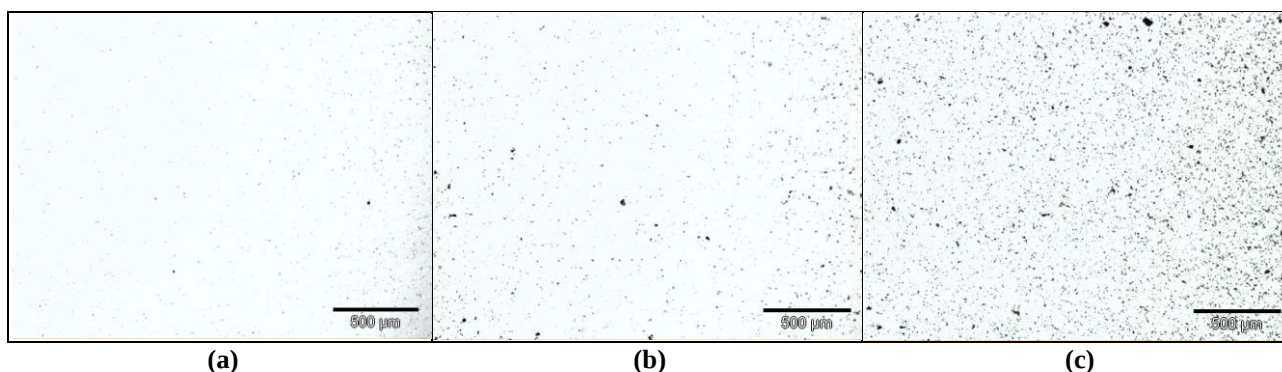


Figura 7. (a) Porosidade aparente (100x) da seção longitudinal (a) liga WC-11(Co,Ni) -140 poros/ cm^2 , (b) liga WC-11(Co,Ni)-0,6SiC - 140 a 430 poros/ cm^2 e WC-11(Co,Ni)-1,2SiC - 4000 poros/ cm^2 .

Este método para avaliação de porosidade aparente não se destina a ser usado como uma especificação, mas os níveis apresentados nas Figuras 7(a), (b) e (c), seção transversal, das ligas WC-10(Co, Ni), WC-10(Co, Ni)-0,6SiC e WC-10(Co,Ni)-0,6SiC, respectivamente, podem ser citados em especificações escritas por produtores e usuários de metal-duro. As Figuras 8(a), (b) e (b) apresentam, respectivamente, as análises por EDS ou EDX (*Energy Dispersive X-ray Detector*), dos insertos das ligas WC-10(Co, Ni), WC-10(Co, Ni)-06SiC e WC-10(Co, Ni)-1,2SiC, sinterizadas a 1420°C; realizados em um equipamento EMU - Microscópio eletrônico de varredura (MEV) Vega 4 LMS, TESCAN (IMT), modo alto vácuo (9×10^{-3} Pa) SEI = 3,0 nm em tensão de aceleração 20 kV, canhão de elétrons – catodo aquecido de tungstênio, corrente na amostra 300 a 670 pA, com velocidades de varredura variando de 6 a 7ms por pixel, ampliações de 10000 x.

Através do ataque eletrolítico, com 5 Volts, foi possível identificar as fases presentes, na escala cinza, revelando os contornos de grãos do WC. Em particular, esse método permite a distinção entre WC (cinza) particulados hexagonais e irregulares e a fase ligante em torno dos WC (clara), Fig. 9(a) e (b). Na Fig. 9(c), soluções sólidas ou precipitados W-Si e Ni-Si na fase ligante (Co, Ni).

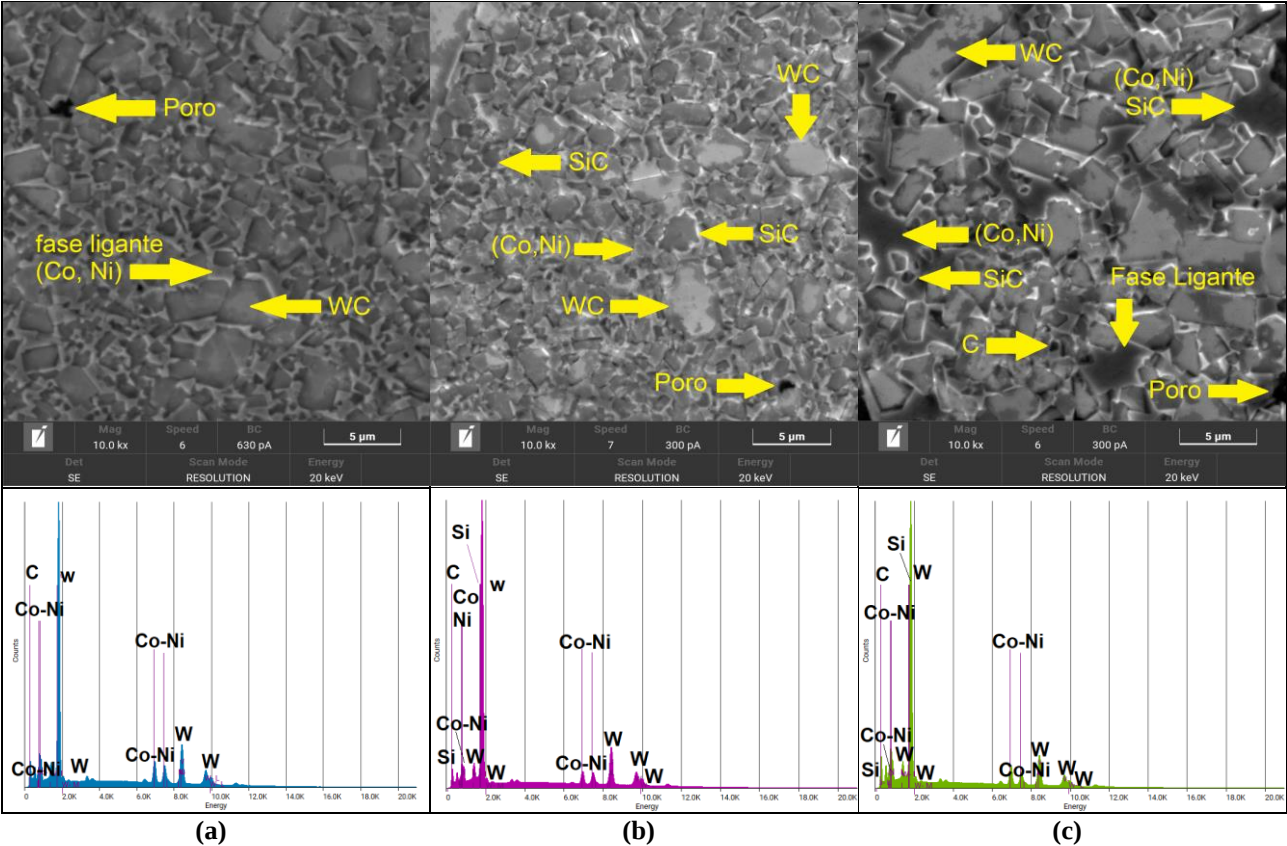


Figura 8. MEV de uma seção transversal polida do compósito (a) MEV-EDS da liga WC-10(Co, Ni) sinterizado à 1420° C, (b) MEV-EDS da liga WC-10(Co, Ni)-0,6SiC e (c) MEV-EDS da liga WC-10(Co, Ni)-1,2SiC.

Considerando os elementos detectados por MEV/EDS (SEI), apresentados na Tabela 3, são destacados os elementos Si, Co, Ni e W. Não é levado em consideração o elemento químico carbono, pois trata-se de uma avaliação qualitativa e semiquantitativa. A presença de W e Si no espectro de MEV/EDS, Fig. 9(b), da matriz metálica e EDS Fig. 9(c), indica a possibilidade de que ocorreram dissoluções das partículas de SiC na fase ligante (Co, Ni).

Tabela 3. Composição química das regiões (EDS), da Figura 8 (a), das misturas.

Amostra	Região	Si (%)	Co (%)	Ni (%)	W (%)
EDS (a) WC-10(Co, Ni)	Fig. 8(a)	0,0	8,93	7,5	52,15
EDS (b) WC-10(Co, Ni)-0,6SiC	Fig. 8(b)	2,54	6,92	6,0	56,71
EDS (c) WC-10(Co, Ni)-1,2SiC	Fig. 8(c)	3,29	7,52	6,43	45,76

4. DISCUSSÕES

Optou-se por utilizar o inserto estilo SMS E16 ou F6 da norma DIN 4966, padrão estrangeiro (1961), devido ao peso da unidade e com relação ao custo de fabricação da matriz para compactação. Apesar de muitos profissionais considerarem o estilo dessas geometrias obsoletos, devido as substituições pelas pastilhas intercambiáveis; o preço comercial desses insertos convencionais de WC-Co continua sendo mais barato, em função da massa e, portanto, permanecem sendo produzidos em grande volume para atender a demanda do mercado industrial.

A escolha do α -SiC para substituição do WC, é devido ao custo comercial da matéria-prima e fácil acesso para aquisição no Brasil. O valor comercial do α -SiC (nacional) é aproximadamente 10 vezes inferior ao valor do WC (importado). A redução da oferta mundial de W e a consequente elevação dos preços do Co, que são os principais elementos para fabricação do substrato de ferramentas de cortes, continuam atraindo as pesquisas científicas, para o desenvolvimento de novos materiais para ferramentas de corte (Miranda *et.al.*, 2021).

Sobre a classificação por aplicação das 3 ligas produzidas, elas podem ser comparadas com as classes P30/P40, M30/M40 e K30/K40, em razão da fase ligante da composição química, densidade, dureza e tensão de ruptura transversal (TRS), Tab. (4). Os mais comumente empregados são as classes de metal-duro codificado pelos Americanos (grade “C”) e o Europeu (ISO) (Brookes, 1996; Ferraresi, 1970).

Tabela 4. Composição química e características físicas principais de metal duro segundo a normas internacionais.

Código		Composição Química (% em massa)					Propriedades			Aplicações (usinagem de metais de ligas Ferrosas)
ISO	C	WC	TiC	TaC/ NbC	Co	Ni	Densidade (g/cm ³)	Dureza (HV)	TRS (N/mm ²)	
P30	C5	84,0	4,0	2,0	9,0	-	13,3	1.490	1.850	Desbaste; cavacos longos e dúcteis (cavaco contínuo). Aço Carbono e micro ligados.
P40		85,0	4,0	-	10,0	-	13,4	1.420	1.950	
M30	-	86,0	4,0	-	10,0	-	13,6	1.440	2.000	Usinagem em geral; cavacos tanto longos como curtos. Aços Inoxidáveis
M40		84,0	4,0	2,0	10,0	-	14,0	1.380	2.100	
K30	C1	91,0	-	-	9,0	-	14,4	1.400	2.250	Desbaste; cavacos curtos (cavaco de ruptura) e materiais não metálicos. Ferro Fundido
K40		89,0	-	-	11,0	-	14,1	1.320	2.500	

Na classificação americana, antes de 2012, os produtos em metal duro eram divididos em 3 categorias (P, M e K). Na classificação ISO (2012), os produtos em metal-duro podem ser divididos em 6 categorias (P, M, K, N, S e H), conforme ABNT NBR ISO 513 – Classificação e aplicação de metais-duros para a usinagem com arestas de corte definidas – designação dos grupos principais e grupos de aplicação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, pode-se concluir com relação aos novos insertos de metais-duros, que:

- As misturas a base de (Co, Ni) na proporção de 1:1, com teor (%) massa, sem adição de aglutinantes poliméricos, mostraram-se eficientes e apresentaram uma solubilidade completa na fase ligante, no qual o Ni é uma solução sólida substitucional.
- No processo de compactação, com 200 MPa, as novas ligas evidenciaram massas específicas ou densidades sinterizadas semelhantes as obtidas pelas normas ISO de 14,0 a 14,70 g/cm³, em função da adição de SiC, para fase ligante com teor de 10% em massa. As densidades desses novos insertos sinterizados, resultaram acima de 99,0% da densidade relativa.
- Com o aumento do teor de SiC, percebe-se uma aumento significativo das durezas dos insertos sinterizados, por microindentação, que são valores satisfatórios aos da literatura e bem próximos ao da norma ISO 513 (2012), para as classes M30/M40 e K30/K40, acima de 1300 HV (1,0 kgf), para usinagem de materiais ferrosos.
- A análise metalográfica evidenciou que para uma temperatura de sinterização de 1420 °C e com o aumento do teor de SiC, o nível de porosidades aumentaram para ligas WC-10(Co,Ni)-0,6SiC (0,2% volume) e WC-10(Co,Ni)-1,2SiC (0,6% volume); exigindo assim, maiores temperaturas de sinterização, para melhor densificação e obtenção de uma porosidade ideal (0,02% volume) similar ao da liga WC-10(Co,Ni).
- Nas micrografias, MEV-EDS, as ligas WC-10(Co,Ni), WC-10(Co,Ni)-0,6SiC e WC-10(Co,Ni)-1,2SiC, apresentaram uma matriz rica em WC com (Co,Ni) bem distribuídos e homogêneos.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa BRATS – Filtros sinterizados e pós-metálicos, pelo uso do laboratório de preparação metalográfica e pelo uso do microscópio ótico (MO). Ao Instituto Mauá de Tecnologia (IMT) pelo uso do microdurômetro (Vickers) e do microscópio eletrônico de varredura MEV E/DS, Fundação de Amparo Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) Proc. 20/09163-3, VINCULADO À RTI 2019/25707-6), e por fim; a empresa LM Usinagem, aos responsáveis (Pedro e Janete), pela retificação dos insertos de MD, nossos sinceros agradecimentos.

8. REFERÊNCIAS

- ASTM B 276-05. Standard Test Method for Apparent Porosity in Cemented Carbides. Adjunct to B276 Standard Test Method for Apparent Porosity in Cemented Carbides - ADJB0276A
- ASTM B 294. Standard Test Method for Hardness Testing of Cemented Carbides. WK37305 Revision of B294 - 10 Standard Test Method for Hardness Testing of Cemented Carbides
- ASTM B 311. Test Method for density determination for powder metallurgy (P/M) Materials containing less than two percent porosity.
- ASTM B390. Standard practice for evaluating apparent grain size and distribution of cemented tungsten carbides.
- ASTM B 610. Standard Test Method for Measuring Dimensional Changes Associated with Processing Metal Powders Intended for Die Compaction.
- ASTM B 657. Standard Guide for Metallographic Identification of Microstructure in Cemented Carbides. Application of Quantitative Microscopy to Cemented Carbides.
- ASTM E 384 Standard Test Method for Microindentation Hardness of Materials.
- Brassinter, Catálogo de Produtos – Pastilha de soldas em metais-duros. Disponível em http://www.brassinter.com.br/downloads/pastilhas_solda.pdf Acesso em 05/03/2023.
- Brookes, K.J.A. World Directory and Handbook of Hardmetals and Hard Materials. 6th Edition. 1996.
- Chiaverini, V. Metalurgia do Pó: Técnicas e Produtos. 4 ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2001. p 183-215.
- DIN 4966:1961 DE Schneidplatten Aus Hartmetall, Für Leichte Schnitte (Foreign Standard)
- Diniz, A. E.; Copini, N. L.; Marcondes, F. C. Tecnologia da Usinagem dos Materiais. 2 ed. Ed. Artliber, 2000. p. 77 – 116.
- Durit. Tecnologia de Fabricação do metal duro. Disponível em <https://www.durit.com/pt/tecnologia/metal-duro>. Acesso em
- Fernandes, C.M. e Senos, A.M.R. Cemented carbide phase diagrams: A review. Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 29 (2011) 405–418.
- Ferraresi, D. Fundamentos da Usinagem dos Metais. Edição: 1970. p. 800. Editor: Edgard Blucher. ISBN: 9788521202578.
- Huang, S.W.; Samandi, M; e Brandt, M. Abrasive Wear Performance and Microstructure of Laser Clad WC/Ni Layers. Wear, 2004. 256, p 1095–1105 512.
- ISO 513. Classification and application of hard cutting materials for metal removal with defined cutting edges — Designation of the main groups and groups of application.
- Kieffer, R.; Schwarzkopf, P. Cemented Carbides. Ed. Macmillan, UK, 1960. ISBN-100024:ISBN-13: 978-0024080806
- Kopac, J., Advanced tool materials for high-speed machining, 12th Int. Scientific Conference Achievements in Mechanical & Materials Engineering, AMME 2003. Disponível em http://jamme.acmsse.h2.pl/papers_amme03/12221.pdf . Acesso em 13/11/2022
- Miranda, F.; Rodrigues, D.; Nakamoto, F.Y.; Frajuca, C., Santos, G.A.; Couto, A.A. Microstructural Evolution of Composite 8 WC-(Co, Ni): Effect of the Addition of SiC. Defect and Diffusion Forum ISSN: 1662-9507, Vol. 371, pp 78-85 doi: 10.4028/www.scientific.net/DDF.371.78 © 2016 Trans Tech Publications, Switzerland.
- Miranda, F.; Fernandes, L.J.; Batalha, M.H.F.; Rodrigues, D.; Stoeterau, R.L. e Batalha, G.F. As matérias-primas críticas em ferramentas de corte para aplicações de usinagem - uma revisão. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.5, p. 49513-49537 may 2021
- Santos, J.N.; Klein, A.N. e Correa, E.O. Desenvolvimento de metais duros WC-Ni-Si para aplicações de engenharia. Tecnol. Metal. Mater. Miner., São Paulo, v. 6, n. 3, p. 162-166, jan-mar 2010. Disponível em <https://www.tecnologiammm.com.br/article/10.4322/tmm.00603008/pdf/tmm-6-3-162.pdf>. Acesso 14/11/2022

9. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

PRODUCTION OF CEMENTED CARBIDES CUTTING TOOLS FOR TURNING: ALTERNATIVE (Co, Ni) BASED BINDERS PHASE WITH ADDITION OF SiC

Fabício Giachetta Ferreira¹, fabicio.ferreira17@aluno.unip.br

Fabio Miranda^{1,2}, fabio.miranda@docente.unip.br

Marcelo Otávio dos Santos^{2,3}, marcelo.santos@maua.br

Gilmar Ferreira Batalha², gfbatalh@usp.br

¹ Universidade Paulista, ICET – Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia – São Paulo, SP – Brasil.

² Universidade de São Paulo, Escola Politécnica da USP, Dep. de Eng. Mecatrônica e de Sist. Mecânicos – São Paulo, SP – Brasil.

³ Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT) – Dep. de Eng. Mecânica – São Caetano do Sul, SP – Brasil.

Abstract. Due to the growing demand for cutting tools for machining applications and the dependence on imports of critical raw materials for the manufacture of hard metals, it is vital to develop alternative solutions to address the high risk of restrictions on access to WC and Co and products that offer the best performance at a reasonable cost. This work aims to analyze the behavior of hardness, density, linear and volumetric contraction and analysis of the microstructures of new hardmetal alloys based on alternative binder phases (Co, Ni), with the addition of α -SiC with 0.6% and 1.2%, through mass balance. Inserts, or cutting tools, style SMS E16 or F6 of DIN 4966, for WC-10(Co, Ni), WC-10(Co, Ni)-0.6SiC and WC-10(Co, Ni) composites -1.2SiC were produced by the powder metallurgy technique via liquid phase sintering, at 1420°C, from WC, Co, Ni and SiC powders smaller than 10 μ m. Densification was studied by the Archimedes method. Apparent porosity analysis via OM and scanning electron microscopy (SEM/EDS) to identify microconstituents were performed. In addition, hardness tests were carried out by Rockwell (HRA) and Vickers (HVM) techniques by micro indentation. The results showed that with the increase of the %SiC in the new hard metal alloys, the hardness and porosity significantly increased, due to the partial dissolution of the SiC particles in the binder phase (Co, Ni).

Keywords: Cutting tools; Cemented carbides; Alternative binding phases (Co, Ni), α -SiC; microstructural characterization and properties.