

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE FERRAMENTAS
DE DIFERENTES GEOMETRIAS PARA USINAR O
MATERIAL VC10 (SIMILAR AISI/SAE 52100)**

Francisco José Sanches Ramos de Camargo

Projeto de Monografia apresentado à Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba, para graduação
no Curso Superior de Tecnologia em Processos
Metalúrgicos.

Área de Concentração: Processos Metalúrgicos
Orientador (a): Prof.^a Lúcia de Almeida Ribeiro

Pindamonhangaba - SP
2017

C172a Camargo, Francisco José Sanches Ramos de.
Análise de desempenho de ferramentas de diferentes geometrias
para usinar o material VC 10 (Similar AISI/SAE 52100) / Francisco José
Sanches Ramos de Camargo / FATEC Pindamonhangaba, 2017.
31f.; il.

Orientadora: Professora Lucia de Almeida Ribeiro
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de
Pindamonhangaba. 2017

1. Desempenho. 2. Geometrias. 3. Parâmetros de corte.
4. Desgastes das ferramentas. I. Camargo, Francisco José Sanches
Ramos de. II. Ribeiro, Lucia de Almeida. III. Título.

CDD 669

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

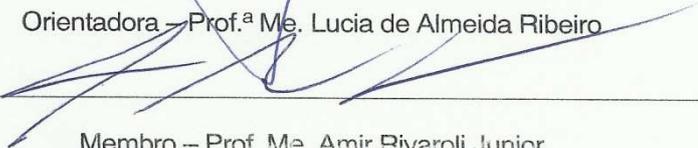
**“ANÁLISE DE DESEMPENHO DE FERRAMENTAS
DE DIFERENTES GEOMETRIAS PARA USINAR O
MATERIAL VC10 (SIMILAR AISI/SAE 52100)”.**

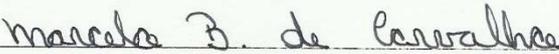
FRANCISCO JOSÉ SANCHES RAMOS DE CAMARGO

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba, para
graduação no Curso Superior de
Tecnologia em Processos Metalúrgicos.

Comissão Examinadora


Orientadora – Prof.ª Me. Lucia de Almeida Ribeiro


Membro – Prof. Me. Amir Rivaroli Junior


Membro – Prof. Me. Marcelo Bergamini de Carvalho

Pindamonhangaba, 14 de dezembro de 2017.

DEDICATÓRIA

Quero agradecer primeiramente a Deus por ser essencial em minha vida, pela força e coragem durante toda minha longa caminhada.

Agradeço aos meus pais, Francisco de Assis Camargo e Maria Aparecida Camargo, que com muito carinho acreditaram em mim, reforçando assim a certeza de que não estou sozinho nesta caminhada.

Dedico este trabalho em especial à minha esposa Gisele Cristina Amâncio de Camargo, pessoa com quem amo compartilhar a vida, com quem tenho me sentido mais vivo de verdade. Obrigado pelo carinho, paciência e por sua capacidade de me trazer a paz na correria de cada dia. E a minha filha Maria Carolina Amâncio de Camargo, razão do meu viver, meu melhor e maior presente de Deus, com seu sorriso meigo e seus abraços carinhosos, renovo minhas forças para encarar todos os desafios diários.

AGRADECIMENTO

Agradeço a todos os professores, que foram tão importantes na minha formação acadêmica, por seus ensinamentos, pela paciência e dedicação ao ensinar. Mais ainda pelo fato de muitos não serem apenas grandes professores, mas sim grandes amigos.

Agradeço a Professora Lúcia de Almeida Ribeiro pela paciência, apoio, empenho e dedicação a orientar-me na elaboração deste trabalho.

Agradeço também a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o mais sincero muito obrigado.

SIGLAS E ABREVIACÕES

PDV: Deposição física de vapor (citada como PVD, do inglês *physical vapor deposition*) é uma variedade de deposição ao vácuo e é um termo geral usado para descrever qualquer de uma variedade de métodos de depositar filmes finos pela condensação de uma forma vaporizada do material sobre várias superfícies.

ASTM: Originalmente conhecida como American Society for Testing and Materials, é um órgão estadunidense de normalização. A ASTM desenvolve e publica normas técnicas para uma ampla gama de materiais, produtos, sistemas e serviços.

Usinagem: Operação que confere a peça forma, dimensões ou acabamento superficial, ou ainda uma combinação destes, através da remoção de material sob a forma de cavaco.

Cavaco: Porção de material da peça retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar forma irregular.

Ap: Profundidade de corte.

Vc: Velocidade de corte.

Lc: Comprimento linear percorrido, durante a usinagem dos corpos de prova.

Fn: Avanço da ferramenta.

CAMARGO, F. J.S.R. **Análise de desempenho de ferramentas de diferentes geometrias para usinar o material VC10 (Similar ao AISI/SAE 52100)**. 2017. 31p. Trabalho de Graduação (Curso de Processos Metalúrgicos). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. 2017.

Resumo:

O trabalho objetivou analisar o desempenho de ferramentas com diferentes geometrias de ponta em operações de torneamento em acabamento, com ou sem a presença do fluido de corte, através dos parâmetros de corte, desgastes das ferramentas, qualidade superficial dos corpos-de-prova, volume de cavaco removido, o formato do cavaco obtido em cada processo de usinagem, influências dos ângulos e raios de ponta na formação do cavaco. O trabalho mostrou como o avanço tecnológico pode quebrar paradigmas da usinagem, quando há exigência de melhores índices de produtividade, na usinagem de novos materiais de liga, neste processo foi utilizado como material base para a análise, uma liga denominada VC10 (similar ao AISI/SAE 52100). Também foram analisados os tipos de desgaste encontrados nas ferramentas de corte após a usinagem. Constatou-se também que a usinagem sem fluido refrigerante pode gerar resultado muito além do esperado em determinados tipos de materiais, como um acabamento superficial quase se assemelhando a processo de retífica.

Palavras-chave: Desempenho, geometrias, parâmetros de corte e desgastes das ferramentas.

CAMARGO, F. J.S.R. **Performance analysis of different geometry tools for machining material VC10 (Similar to AISI / SAE 52100)**. 2017. 31p. Undergraduate Work (Course of Metallurgical Processes). Faculty of Technology of Pindamonhangaba. 2017.

Abstract:

The aim of this work was to analyze the performance of tools with different cutting geometries in finishing turning operations, with or without the presence of cutting fluid, through cutting parameters, tool wear, surface quality of the specimens, volume of chip removed, the shape of the chip obtained in each machining process, influence of the angles and tip rays in the chip formation. The work showed how the technological advance can break paradigms of machining, when there is demand of better productivity indexes, in the machining of new alloying materials, in this process was used as base material for the analysis, a league denominated VC10 (similar to AISI / SAE 52100). We also analyzed the types of wear encountered in the cutting tools after machining. It has also been reported that machining without refrigerant can produce much more than expected results in certain types of materials, such as a surface finish almost resembling the grinding process.

Keywords: Performance, geometries, cutting parameters and tool wear.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
3 MATERIAIS E MÉTODOS	7
4 RESULTADOS	12
5 CONCLUSÃO	29
6 REFERÊNCIAS	30

Lista de Figuras

Matéria-prima das ferramentas de corte.....	4
Esquema do processo de fabricação do Metal Duro.....	5
Corpo de prova.....	7
Fluido de corte óleo Solúvel Sintético BQL BIO100e.....	9
Trono NARDINI utilizado no ensaio.....	10
Cavacos obtidos do torneamento do material VC10 (similar ao AISI/SAE 52100).....	12
Desgaste de flanco.....	18
Desgaste de Craterização.....	19
Desgaste tipo Aresta postiça (BUE).....	19
Desgaste tipo entalhe.....	20
Desgaste tipo deformação plástica.....	20
Desgaste tipo Trincas térmicas.....	21
Desgaste tipo Lascamento /Quebra de aresta.....	21
Insertos utilizados nos testes e tipos de desgastes.....	22

Lista de Figuras

Tabela 1: Composição química do aço 52100 padronizado pela norma ASTM.... 8

Tabela 2 – Condições de usinagem dos ensaios sem refrigeração

Profundidade de corte $-(ap) = 0,4\text{mm}$ 11

Tabela 3 – Condições de usinagem dos ensaios sem refrigeração

Profundidade de corte $-(ap) = 0,8\text{mm}$ 11

Tabela 4 – Condições de usinagem dos ensaios com refrigeração

Profundidade de corte $-(ap) = 0,8\text{mm}$ 11

1 INTRODUÇÃO

O avanço na manufatura de máquinas operatrizes cada vez mais rígidas, computadorizadas e com tolerância extremamente precisa, a operação de torneamento de aços endurecidos e aços inoxidáveis vêm se tornando cada vez mais comum (SANDVIK, 2007). Com a inovação das ferramentas que possibilitam reduções significativas de tempos de usinagem ou que ainda possibilitam acabamentos superficiais comparados ao de um processo de retificação, devido principalmente as chamadas ferramentas de geometria alisadora (*wiper*) que segundo MICARONI e DINIZ (2004) é possível conseguir um acabamento superfino se comparado com ferramentas convencionais, ou igual para avanços de duas vezes acima, com isso obtém-se alta produção com mesmo padrão de acabamento.

Tradicionalmente, os fluidos de corte sempre foram utilizados na usinagem dos metais para aumentar a vida útil das ferramentas e obter melhor qualidade superficial das peças, dentre outras funções. Porém, seus efeitos indesejáveis fizeram com que fossem estudadas e desenvolvidas novas técnicas para adaptação ambiental dos processos atuais. O corte a seco e a MQF (Mínima Quantidade de Fluido) serão considerados uma necessidade nos empreendimentos industriais em futuro próximo (MICARONI, 2004).

Autores como Cselle (1995), Klocke e Eisenblätter (1997) e Dunlap (1997), afirmam que aproximadamente 16% do custo total da usinagem é gasto com fluidos de corte. Incluindo-se pessoal, manutenção, resfriamento, despesas gerais, a própria aquisição do fluido de corte, etc. Novaski e Dörr (1999), dizem que os gastos relativos com fluido de corte são altos e não podem ser deixados de lado, tendo em vista que os custos das ferramentas de corte estão em torno de 2 a 4%.

Micaroni (2004) estudou a vida da ferramenta em operação de torneamento e obteve bons resultados na substituição do corte com fluido pela operação com mínima quantidade de fluido, em determinadas condições de usinagem. Oliveira (2003) estudou em determinadas condições o torneamento a seco em operações de desbaste, demonstrando que para algumas condições o corte a seco é bem vantajoso. Este mesmo autor comparou o desempenho de pastilhas alisadoras com o de pastilhas convencionais no torneamento de aço 1045 e concluiu que os valores de rugosidade, apesar de inicialmente menores, tendem a crescer mais rapidamente com a utilização de pastilha alisadora do que com pastilha convencional.

Diante deste cenário, o presente trabalho objetiva estudar o comportamento das ferramentas com diferentes geometrias de ponta mediante seu desgaste de flanco (VB) e qualidade superficial gerada nos corpos de prova para operações de torneamento em acabamento com e sem fluido de corte.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

AÇOS ENDURECIDOS: São ligas ferro-carbono que podem conter concentrações apreciáveis de outros elementos de formação de liga. Existem milhares de ligas que possuem composições e tratamentos térmicos diferentes. As propriedades mecânicas são sensíveis ao teor de carbono, o qual é normalmente inferior a 1% em massa. Este teor de carbono, de uma forma geral, tem relação com a capacidade do aço em modificar suas propriedades em função do tratamento térmico. A capacidade de aumento de dureza de um aço, após a austenitização e têmpera, é uma das propriedades dependentes do teor de carbono (TOTTEN e HOWES, 1997).

AÇOS INOXIDÁVEIS ENDURECÍVEIS POR PRECIPITAÇÃO: São aços inoxidáveis que devido à porcentagem de cromo, níquel e de outros elementos de liga adicionados, apresentam características vantajosas com relação às demais ligas tradicionais de aços inoxidáveis ao serem submetidas ao tratamento de endurecimento por precipitação. Estes aços caracterizam-se por apresentarem simultaneamente alta resistência à corrosão e elevada resistência mecânica (PECNER e BERNSTEIN, 1977). Principais aços inoxidáveis endurecíveis por precipitação: 17-4 Ph, 17-7 Ph, 15-5 Ph, 15Ph-8Mo, 13Ph-8Mo, A 286.

AÇO INOXIDÁVEL 13PH-8MO: aço inoxidável martensítico, que contém Cr (13%), Ni (8%) e Mo (2%). Apresenta excepcional resistência à tração e boa ductilidade. É geralmente comprado na condição solubilizada e é endurecida pelo “usuário”. Sua resistência à fratura é boa em seções pesadas em temperatura ambiente, porém decresce rapidamente em temperaturas abaixo de -17°C (SANDVIK, 2005).

Sua resistência à corrosão é maior na sua condição mais resistente à tração, sendo que decresce conforme a temperatura de endurecimento por precipitação sobe. Possui ótima soldabilidade. Podem atingir altos níveis de resistência mecânica (próximo dos aços martensíticos) com boa ductilidade (próximo dos aços austeníticos). Estes ainda podem ser divididos em dois tipos: Martensíticos e semi-austeníticos.

Aplicações aeronáuticas: Chapas e placas (ferragens de ligação, batentes, suportes); Barras (barra de torção, eixo, pino trava, espaçador, conexão, eixo da roda).

AÇO INOXIDÁVEL 15-5 PH: Aço inoxidável martensítico com Cr (15%), Ni (5%) e Cu (4%), que apresenta uma ductilidade superior aos demais inoxidáveis endurecidos por precipitação, com alta resistência à tração. Apresenta resistência à corrosão muito boa em várias atmosferas, porém a resistência à corrosão sob tensão decresce caso seja utilizada a

maior temperatura de endurecimento por precipitação. Possui ainda boa soldabilidade e usinabilidade(SANDVIK, 2005).

TITÂNIO: Comparado à usinagem da maioria dos metais, o titânio faz maiores exigências e impõe mais limites (SANDVIK, 2005). Tudo isso porque as ligas de titânio têm características metalúrgicas e propriedades que podem afetar seriamente a ação e o material de corte. Entretanto, quando as ferramentas certas são aplicadas corretamente, e a máquina e o setup são otimizados para a usinagem de titânio, é possível atender as exigências e realizar as operações com desempenho e resultados satisfatórios. Uma usinagem bem-sucedida envolve simplesmente a neutralização dos efeitos das propriedades do titânio no momento da usinagem. Muitas das propriedades que tornam o titânio tão atrativo para peças são, justamente, aquelas que afetam a sua usinagem. Ele apresenta elevada relação resistência-peso e densidade típica equivalente a apenas 60 por cento da densidade do aço. O titânio é mais resistente, com menor grau de elasticidade, porém é mais flexível que o aço.

Apresenta maior resistência à corrosão que o aço inoxidável e baixa condutividade térmica. Essas propriedades fazem com que o titânio gere forças de corte bastante altas e concentradas durante a usinagem. Além disso, é mau condutor térmico. Assim, a usinagem de titânio requer do material de ferramenta uma alta resistência térmica, devido à concentração de calor na zona de corte. Comparativamente, o titânio parece difícil porque não pode ser usinado com a mesma velocidade, nem com as mesmas ferramentas e vida útil se comparado com a usinagem de alguns aços inoxidáveis(SANDVIK, 2005).

Porém, ao mesmo tempo que se diz que o titânio deve ser usinado com velocidades e avanços diferentes e com algumas precauções, se comparado com a maioria dos materiais, ele também pode ser considerado um material fácil de usar(SANDVIK, 2005).

AÇO VC10 (*similar ao AISI/SAE 52100*): São destinados ao trabalho a temperaturas superiores a 200° C, caracterizando-se por apresentar, nas condições de operação, elevada dureza, resistência mecânica e ao desgaste, bem como alta temperabilidade, tenacidade, condutividade, resistência à fadiga e à formação de trincas térmicas. Estas propriedades são apresentadas por aços ligados especialmente concebidos para estas finalidades (VILLARES, 2000).

A grande vantagem do metal duro é manter o corte da ferramenta vivo por muito mais tempo, mesmo quando submetido à velocidade de trabalho inúmeras vezes superior ao que suportaria o aço rápido (SANDVIK, 2007).

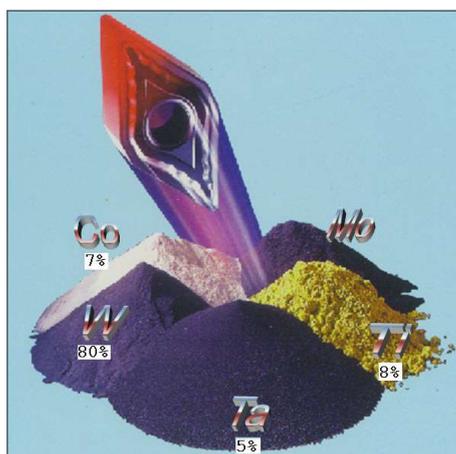
O metal duro aumentou significativamente a produtividade, por ter a propriedade de manter a dureza e assim o fio de corte, mesmo quando muito aquecido, pois quanto mais rápido se executa uma usinagem, maior o calor gerado na interface ferramenta-peça.

Desde o princípio, o metal duro, por ser fruto da metalurgia do pó, foi desenvolvido em forma de barriletes ou pastilhas, no começo eram soldadas a hastes ou cabeçotes metálicos para, deste modo, formar a chamada ferramenta. Como as soldas não resistem às altas temperaturas na usinagem e por isso soltariam as pastilhas durante o processo, causando acidentes, estas passaram a ser intercambiáveis e fixadas mecanicamente aos seus suportes, facilitando o processo de troca de uma ferramenta gasta por uma nova(SANDVIK, 2007).

Para quem não é do ramo, ocorreu melhoria semelhante à troca da navalha pela lâmina de barbear, que possibilitou a troca de um fio de corte cego por um afiado, com mínima perda de tempo(SANDVIK, 2007).

O metal duro, representado na Figura 1, é composto de carbonetos metálicos em forma de minúsculas partículas que são incrustadas em metal ligante. Os componentes mais importantes são o carboneto de tungstênio (WC) e o metal ligante cobalto (Co). O Carboneto de Tungstênio determina a resistência ao desgaste, enquanto o Cobalto determina a tenacidade (SANDVIK, 2007).

Figura 1 - Matéria-prima das ferramentas de corte

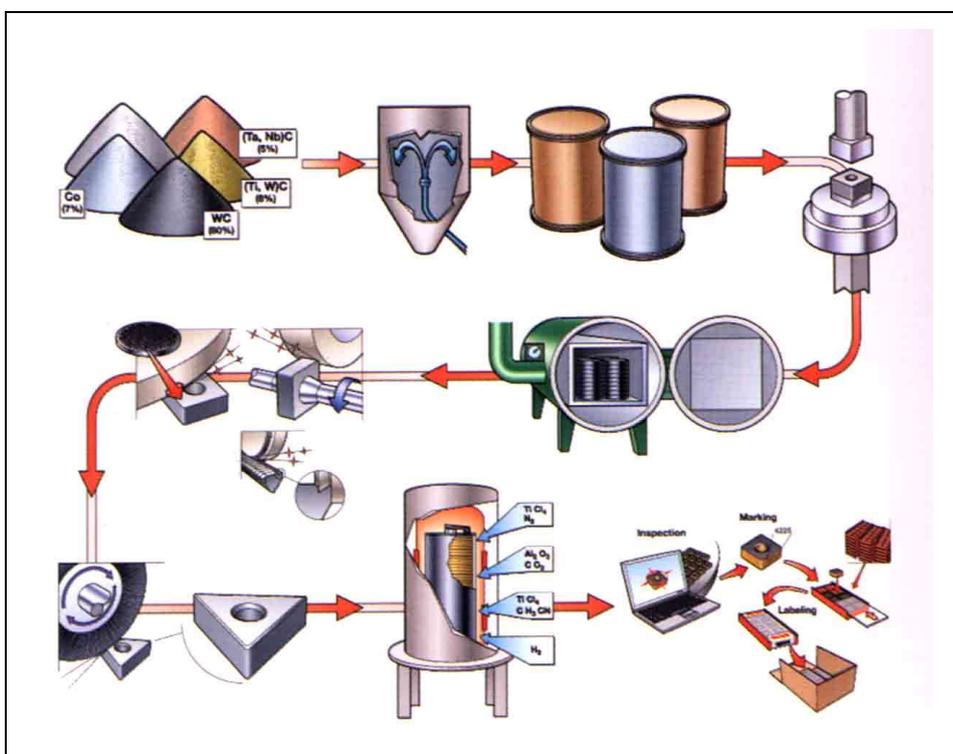


Fonte: (SANDVIK, 2007)

Entre as duas propriedades existem uma relação inversamente proporcional, ou seja, uma alta resistência ao desgaste somente pode ser obtida com a redução da tenacidade e vice-versa. No passado, as classes convencionais de metal duro eram limitadas quanto ao campo de aplicação, pois uma classe rica em fase a, aumentava a resistência ao desgaste, mas ao mesmo tempo, reduzia a tenacidade e vice-versa. Esta relação entre as

propriedades fazia com que as classes fossem mais específicas, pois uma classe que usinava bem um determinado material não usinava tão bem outro, se ela se adequasse bem ao desbaste, não rendia o mesmo no acabamento. Uma indústria que possuísse uma grande diversidade de materiais e que variasse a usinagem do acabamento fino ao desbaste pesado, obrigatoriamente necessitava de uma grande variedade de classes e, por consequência, um inventário de ferramentas demasiadamente grande. Na figura 2, pode-se observar o esquema do processo de fabricação do metal duro(SANDVIK, 2007).

Figura 2 - Esquema do processo de fabricação do Metal Duro



Fonte: (SANDVIK, 2007)

Segundo Barbosa (2012) apesar do carboneto de tungstênio (WC) e o cobalto (Co) serem os componentes mais importantes, com o tempo, outros componentes foram adicionados a essa composição básica. A adição de carbonetos de titânio (TiC), tântalo (TaC) e nióbio (NbC) denominados fase g melhoraram muito a performance das ferramentas de metal duro, desde quando utilizados pela primeira vez no final dos anos 60. Sua introdução proporcionou maior abrangência dos campos de aplicação das classes até então existentes, de forma que as novas classes passaram a conjugar propriedades de resistência ao desgaste e tenacidade ao mesmo tempo. Com propriedades mais

equilibradas foi possível desenvolver classes que podiam se adequar a um leque maior de operações e materiais.

Por serem carbonetos mais estáveis, os carbonetos de titânio (TiC) foram adicionados para aumentar a resistência à craterização, enquanto os carbonetos de tântalo (TaC) e nióbio (NbC) deram mais tenacidade ao metal duro (BARBOSA, 2012).

Um maior teor de carbonetos eleva a dureza da ferramenta e a torna mais adequada para operações de acabamento, que são operações mais leves, executadas em altas velocidades, pequenas profundidades de corte e avanços reduzidos exigindo, portanto, muito mais da dureza da ferramenta (BARBOSA, 2012).

As propriedades das ferramentas de corte podem ser melhoradas com a introdução de uma ou mais camadas de revestimento em sua superfície, que em geral são camadas finas e duras, que proporcionam as ferramentas elevada dureza aliada a baixo coeficiente de atrito e estabilidade química, podendo variar sua espessura entre 1 a 4 μm . Segundo Rупpi & Halvarsson (1999), os processos de deposição de coberturas em ferramentas de corte podem ser divididos em dois grupos: CVD (Chemical Vapour Deposition) e PVD (Physical Vapour Deposition). A principal característica do processo CVD é a alta temperatura no substrato para deposição na cobertura, que promove a redução da dureza em ferramentas de aço rápido e também afetam a tenacidade e a resistência a ruptura de metais duros. O processo de cobertura CVD, a principal vantagem deste processo é a redução das tensões e o aumento da rigidez (KLOCKE e KRIEG, 1999).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A figura 3 mostra os dois corpos de prova com diâmetro inicial de 65 mm utilizados nos testes, e na tabela 1 a Composição química do aço 52100 padronizado pela norma ASTM. As ferramentas de corte empregadas foram pastilhas de metal duro com código PM 4325, MR 2025, QM S05F e QM 1105, montadas no suporte PCLNR 2020-12 conforme visto na figura 4. Estas pastilhas são recomendadas para operações de semi-acabamento e acabamento de aços, são pastilhas de metal duro com micro-grãos e cobertura. Podemos observar na figura 5, o fluido de corte utilizado para a refrigeração foi o óleo Solúvel Sintético BQL BIO100e. Composição química do óleo: Triazina e Trietanol. A figura 6 mostra a máquina utilizada nos ensaios, um torno NARDINI, modelo NODUS 220 Gold.

Figura 3 - Corpo de prova 1



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Figura 4 - Corpo de prova 2



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Tabela 1: Composição química do aço 52100 padronizado pela norma ASTM.

Material	CQ % em Massa	C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo	V
AISI/SAE 52100	Normatizado	0,98	0,25	0,025	0,025	0,15	****	1,30	****	0,10
		1,10	0,45					0,35		1,60
AISI/SAE 52100	Analisado	1,02	0,34	0,012	0,005	0,32	0,09	1,50	0,02	0,05

Fonte: (VILLARES METALS)

Figura 5: fluido de corte óleo Solúvel Sintético BQL BIO100e.



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Figura 6 - Máquina utilizada no ensaio.



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Durante a usinagem dos corpos-de-prova foi monitorado o volume de cavaco removido, a forma do cavaco e os desgastes gerados nas arestas de corte. Realizamos a usinagem com e sem refrigeração. Os ensaios foram realizados para o comprimento equivalente de corte de 50 mm.

Já os parâmetros velocidade de corte (v_c), avanço (f) e profundidade de corte (a_p) foram estabelecidos conforme recomendações do fabricante das pastilhas. Nos experimentos, procurou-se verificar o comportamento das ferramentas em termos de desgaste, acabamento superficial e características do cavaco resultante, produzido na peça.

As tabelas 2, 3 e 4 mostram as condições de usinagem utilizadas nos diversos ensaios e os tipos dos cavacos obtidos durante a usinagem sem e com fluido de corte. Os parâmetros de corte como avanço (f_n) e velocidade de corte (V_c) foram aplicados igualmente à todas as ferramentas, assim, podemos analisar os diferentes comportamentos durante a usinagem.

Tabela 2 – Condições de usinagem dos ensaios sem refrigeração

Profundidade de corte $-(a_p) = 0,4 \text{ mm}$

Corpo de prova	Geometria / Classe	Vc(m/min)	Avanço Fn (mm/rot)	Comprimento de corte/ Lc (mm)	Diâmetro (mm)	Tipo de cavaco
1.1	PM 4325 R0,4	120	0,3	50	65	Virgula curto
1.2	MR 2025 R0,8	120	0,3	50	64,2	Helicoidal curto
1.3	QM S05F R0,8	120	0,3	50	63,4	Helicoidal longo
1.4	QM 1105 R0,8	120	0,3	50	62	Helicoidal longo

Tabela 3 – Condições de usinagem dos ensaios sem refrigeração

Profundidade de corte $-(a_p) = 0,8 \text{ mm}$

Corpo de prova	Geometria / Classe	Vc(m/min)	Avanço Fn (mm/rot)	Comprimento de corte/ Lc (mm)	Diâmetro (mm)	Tipo de cavaco
1.1	PM 4325 R0,4	120	0,3	50	65	Helicoidal curto
1.2	MR 2025 R0,8	120	0,3	50	63,4	Helicoidal curto
1.3	QM S05F R0,8	120	0,3	50	61,8	Helicoidal curto
1.4	QM 1105 R0,8	120	0,3	50	60,2	Helicoidal curto

Tabela 4 – Condições de usinagem dos ensaios com refrigeração

Profundidade de corte $-(a_p) = 0,8 \text{ mm}$

Corpo de prova	Geometria / Classe	Vc(m/min)	Avanço Fn (mm/rot)	Comprimento de corte/ Lc (mm)	Diâmetro (mm)	Tipo de cavaco
1.1	PM 4325 R0,4	120	0,3	50	65	Misto Helicoidal / vírgula
1.2	MR 2025 R0,8	120	0,3	50	63,4	Helicoidal longo
1.3	QM S05F R0,8	120	0,3	50	62	Helicoidal curto
1.4	QM 1105 R0,8	120	0,3	50	60,4	Helicoidal longo

4 RESULTADOS

4.1 FORMAÇÕES DO CAVACO

Os cavacos obtidos do torneamento do material VC10 (similar ao AISI/SAE 52100) e apresentados nas figuras 7, 8, 9, 11, 14, 15, 17 e 18, são considerados ideais ao processo de usinagem, pois o raio de ponta da ferramenta aliada a uma profundidade de corte adequada gerou um cavaco pequeno e quebradiço, gerando assim pouco volume no local de armazenamento, por exemplo, uma caçamba de sucata.

A figura 10 representa muito bem quando o quebra-cavaco não exercesse a sua função corretamente devido a parâmetros não recomendados ou incorretos, o cavaco ficou com um aspecto irregular, pois, o raio da ponta da ferramenta é de 0,8mm e durante o teste foi utilizado um A_p de 0,4mm, fazendo com que o quebra-cavaco não fosse utilizado. As figuras 10, 12, 13 e 16 apresentam os cavacos com uma forma espiral longa e também irregular, sendo necessária uma área maior para o depósito do material com este formato, outro detalhe, é que durante o processo de usinagem, o cavaco pode se enrolar a peça e ser lançado contra o operador, podendo vir a gerar um possível acidente.

Figura 7: Cavaco vírgula curto – Pastilha PM 4325 R 0,4 - Usinagem sem fluido de corte, A_p de 0,8mm



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Figura 8 - Cavaco Helicoidal curto – Pastilha PM 4325 R 0,4 - Usinagem sem fluido de corte, Ap de 0,4mm



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Figura 9 - Cavaco misto vírgula e helicoidal – Pastilha PM 4325 R 0,4 - Usinagem com fluido de corte, Ap de 0,8mm



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Figura 10 - Cavaco Helicoidal longo – pastilha MR 2025 R 0,8 - Usinagem sem fluido de corte, A_p de 0,4mm



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Figura 11 - Cavaco Helicoidal Curto – pastilha MR 2025 R 0,8 - Usinagem sem fluido de corte, A_p de 0,8mm



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Figura 12 - Cavaco Helicoidal longo – pastilha MR 2025 R 0,8 – Usinagem com utilização de fluido de corte e A_p de 0,8mm.



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Figura 13 - Cavaco helicoidal curto – QM S05F R 0,8 – Usinagem sem lubrificação e com A_p de 0,4mm



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Figura 14 - Cavaco helicoidal curto – QM S05F R 0,8 – Usinagem sem lubrificação e A_p de 0,8mm



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Figura 15 - Cavaco helicoidal curto QM S05F - Usinagem com fluido de corte, A_p de 0,8mm



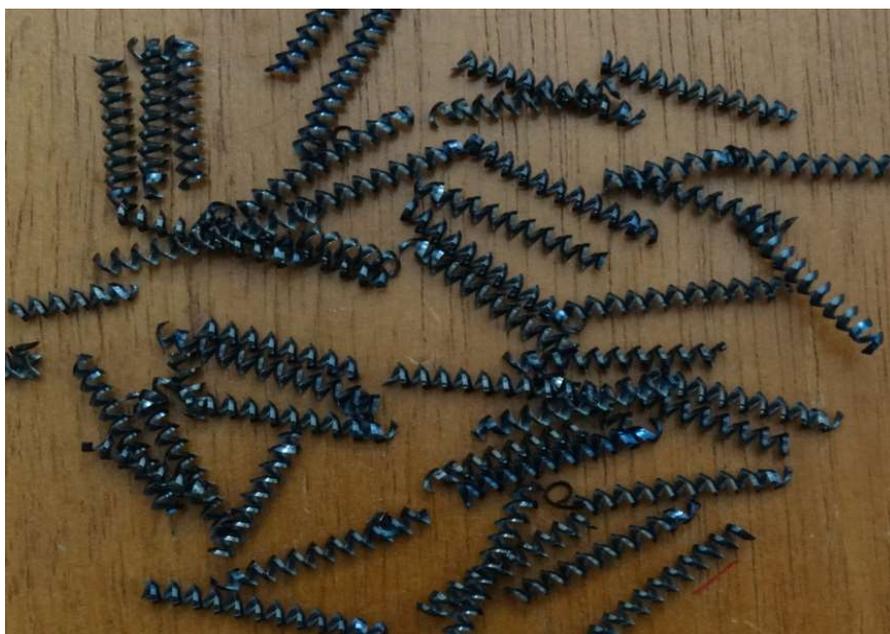
Fonte: (O AUTOR, 2017).

Figura 16 - Cavaco helicoidal curto – QM 1105 0,8 – Usinagem sem lubrificação e com A_p de 0,4mm



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Figura 17 - Cavaco helicoidal curto – QM 1105 0,8 – Usinagem sem lubrificação e com A_p de 0,8mm



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Figura 18 - Cavaco helicoidal curto – QM 1105 0,8 – Usinagem com lubrificação e com A_p de 0,8mm

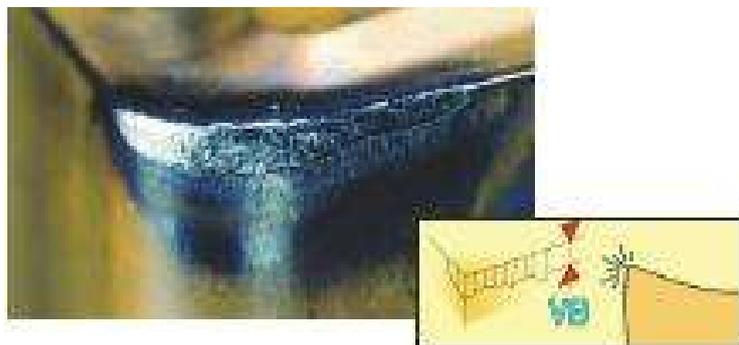


Fonte: (O AUTOR, 2017).

4.2 TIPOS DE DESGASTE E AVARIAS

Para entender as vantagens e as limitações de cada material, é importante ter algum conhecimento dos diferentes mecanismos de desgaste aos quais as ferramentas de corte estão sujeitas.

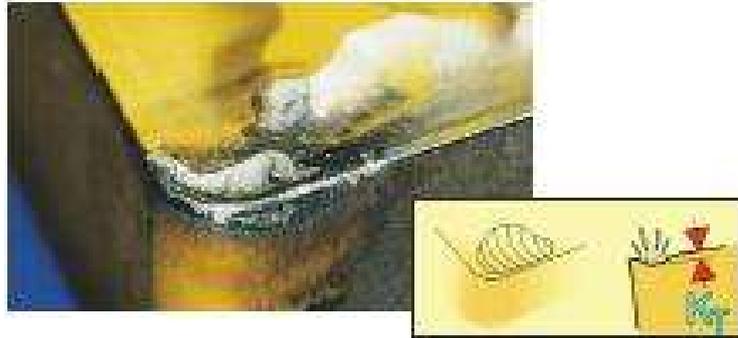
Figura 19 - Desgaste de flanco



Fonte: (SANDVIK, 2005)

O tipo mais comum de desgaste e o tipo preferido de desgaste, pois oferece uma vida útil da ferramenta previsível e estável. O desgaste de flanco ocorre devido à abrasão, causada por constituintes duros no material da peça.

Figura 20 - Desgaste de Craterização



Fonte: (SANDVIK, 2005)

A craterização é localizada na saída da pastilha. Ela ocorre devido à reação química entre o material da peça e a ferramenta de corte e é aumentada pela velocidade de corte. Craterização excessiva enfraquece a aresta de corte e pode levar à quebra.

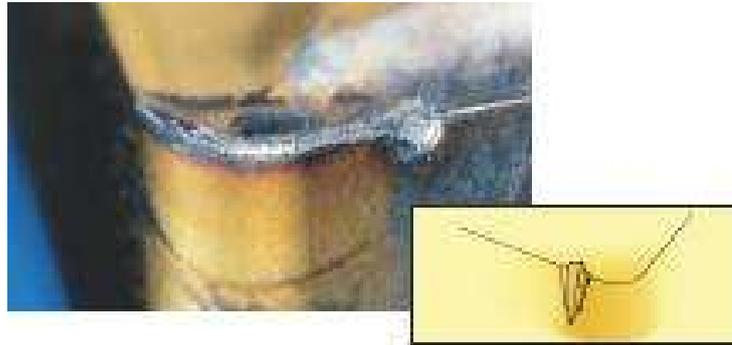
Figura 21 - Aresta postiça (BUE)



Fonte: (SANDVIK, 2005)

Este tipo de desgaste é causado por solda por pressão do cavaco na pastilha. É mais comum na usinagem de materiais pastosos, como aços com baixo teor de carbono, aços inoxidáveis e alumínio. Baixa velocidade de corte aumenta a formação de aresta postiça.

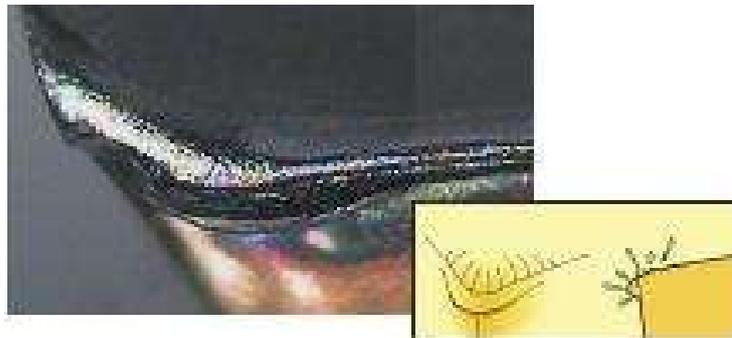
Figura 22 - Desgaste tipo entalhe



Fonte: (SANDVIK, 2005)

Desgaste da pastilha caracterizado por dano excessivo localizado na face de saída e no flanco da pastilha na linha da profundidade de corte. Causado pela adesão (solda por pressão de cavacos) e uma deformação na superfície endurecida. Um tipo comum de desgaste ao usinar aços inoxidáveis e HRSA.

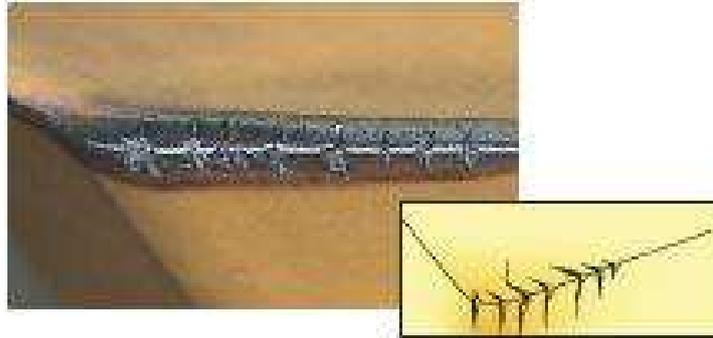
Figura 18 - Deformação plástica



Fonte: (SANDVIK, 2005)

A deformação plástica ocorre quando o material da ferramenta é amolecido. Isto acontece quando a temperatura de corte está muito alta para uma determinada classe. Em geral, as classes mais duras e as coberturas mais espessas melhoram a resistência ao desgaste por deformação plástica.

Figura 18 - Trincas térmicas



Fonte: (SANDVIK, 2005)

Quando a temperatura na aresta de corte muda rapidamente de quente para frio, várias trincas podem surgir perpendiculares à aresta de corte. Trincas térmicas são relativas a cortes interrompidos, comuns em operações de fresamento e agravadas pelo uso de refrigerante

Figura 18 - Lascamento /Quebra de aresta



Fonte: (SANDVIK, 2005)

O lascamento ou a quebra são o resultado de uma sobrecarga das tensões de tração mecânica. Estas tensões podem ocorrer por vários motivos, como martelamento de cavacos, uma profundidade de corte ou avanço muito alto, inclusão de areia no material da peça, aresta postiça, vibrações ou desgaste excessivo na pastilha.

4.3 DESGASTE E AVARIAS NAS FERRAMENTAS DE CORTE

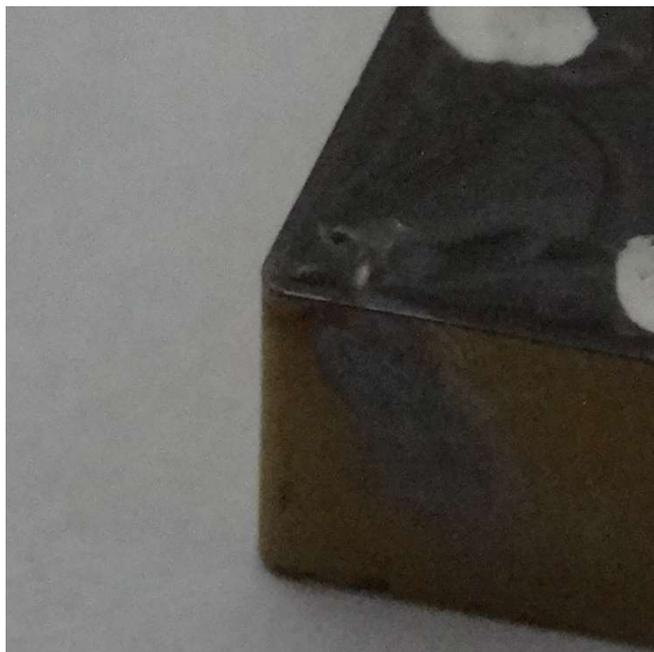
Após a realização da usinagem dos corpos de prova, podemos verificar que, apesar de leve, o desgaste de flanco ocorreu com maior frequência, podendo ser observado nas fotos 20, 26, 28 e 29. O desgaste tipo entalhe pode ser verificado nas fotos 21, 23 e 24, demonstrando as avarias geradas na aresta de corte da ferramenta. O desgaste tipo craterização foi notado em apenas duas ferramentas, apresentadas nas fotos 19 e 29, aonde percebemos um pequeno desgaste na saída do cavaco. E as ferramentas das fotos 22, 25 e 27, não apresentaram nenhuma avaria e/ou desgaste considerável durante a execução da usinagem.

Foto 19 – Aresta do inserto PM 4325 R0,4 – Leve desgaste tipo craterização.



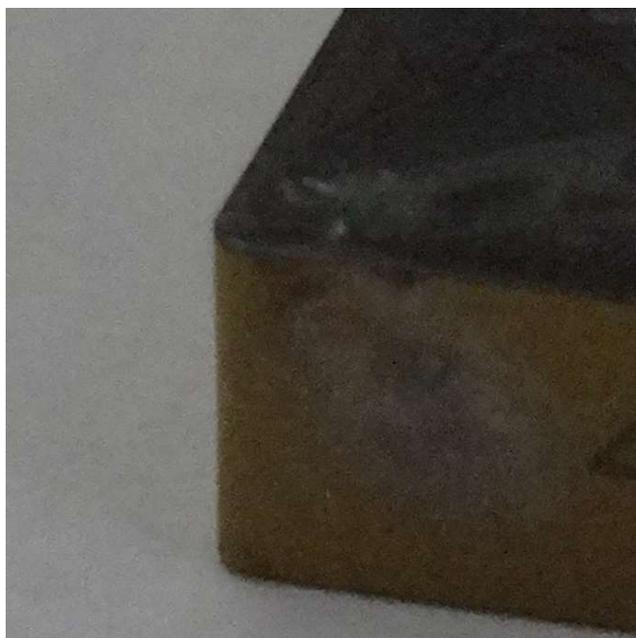
Fonte: (O AUTOR, 2017).

Foto 20 – Aresta do inserto PM 4325 R0,4 – leve desgaste de flanco.



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Foto 21 - Aresta do inserto PM 4325 R0,4 – desgaste tipo entalhe.



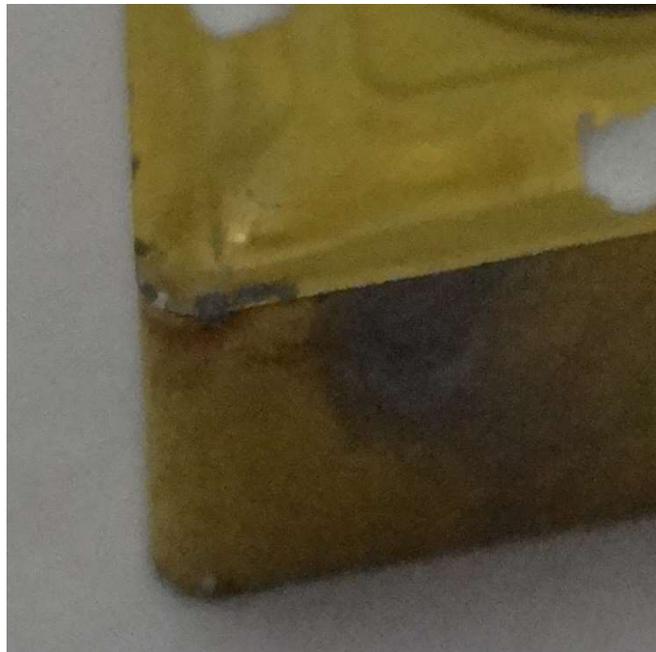
Fonte: (O AUTOR, 2017).

Foto 22 –Aresta do inserto QM S05F R0,8 – não houve desgaste considerável.



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Foto 23 – Aresta do inserto QM S05F R0,8 – desgaste tipo entalhe.



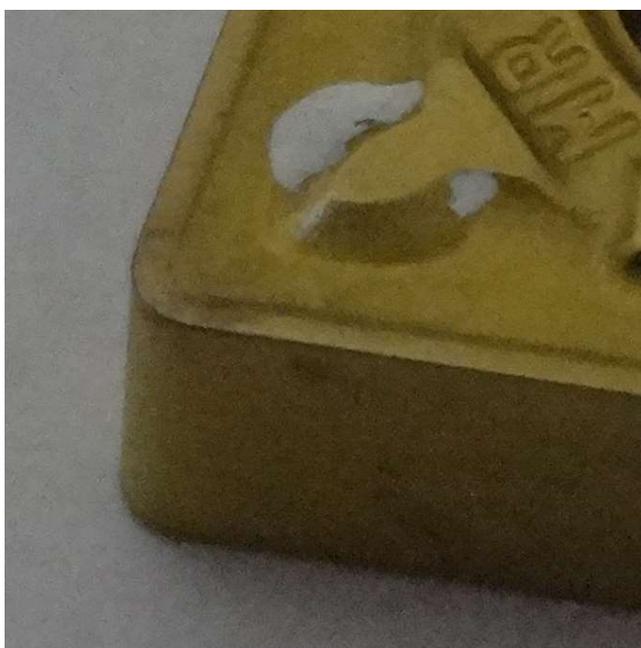
Fonte: (O AUTOR, 2017).

Foto 24 - Aresta do inserto QM S05F R0,8 – desgaste tipo entalhe.



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Foto 25 –Aresta do inserto MR 2025R0,8 – não houve desgaste considerável.



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Foto 26 – Aresta do inserto MR 2025R 0,8 – leve desgaste de flanco.



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Foto 27 - Aresta do inserto MR 2025R 0,8 – não houve desgaste considerável.



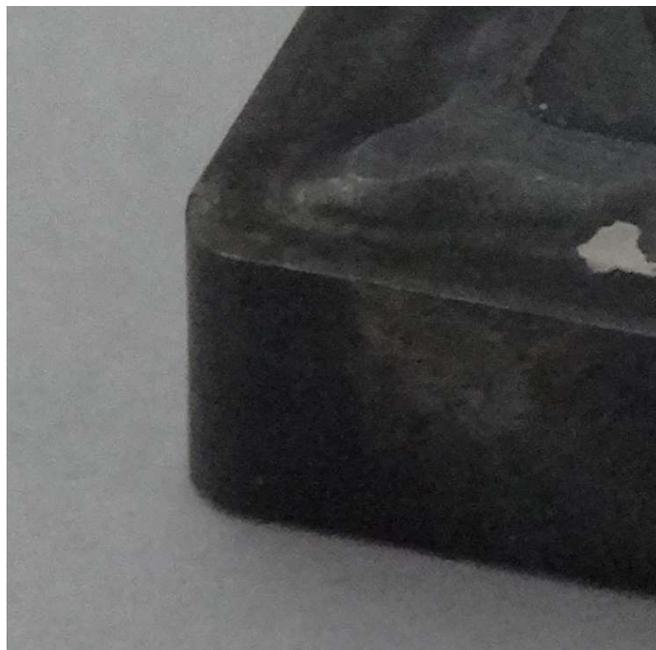
Fonte: (O AUTOR, 2017).

Foto 28 - Aresta do inserto QM 1105R0,8 – leve desgaste de flanco.



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Foto 29 - Aresta do inserto QM 1105R0,8 – desgaste de flanco e craterização.



Fonte: (O AUTOR, 2017).

Foto 30 - Arestas do inserto QM 1105 R0,8 – desgaste tipo craterização.



Fonte: (O AUTOR, 2017).

5 CONCLUSÃO

O material VC10 (similar ao AISI/SAE 52100) apresentou características favoráveis a usinabilidade com as ferramentas utilizadas nos testes, quando utilizando seus corretos parâmetros de corte e o raio de ponta da ferramenta aliada a uma profundidade de corte adequada. Entretanto não apresentou a mesma qualidade em relação ao processo de usinagem com refrigeração, apresentando um acabamento superficial com um brilho diferenciado semelhante a uma superfície vibrada, podendo ser visualizada apenas com a peça em movimento (verificada em todos os processos com refrigeração), diferente do processo sem refrigeração, que demonstrou um acabamento muito superior e perfeito.

Em relação aos insertos, os que obtiveram os melhores resultados nos testes foram o QM-classe S05F - R0,8 e o MR-classe 2025 - R0,8 onde não houve desgastes consideráveis durante a usinagem sem refrigeração. Em contra partida o inserto QM-classe 1105 - R 0,8 apresentou desgaste de flanco e craterização em ambas as situações de usinagem com e sem refrigeração.

6 REFERÊNCIAS

BARBOSA, J. P. **Materiais para ferramentas de corte**. Instituto Federal de Espírito Santo. 2012.

CSELLE, T: **New directions in drilling**. Manufacturing Engineering, SME Publications, v. 115, no 2, p. 77-80, 1995.

DUNLAP, C.: **Should you try dry: part I. characterization**. Journal of Materials Processing Technology, v. 56, p. 788-797, 1997.

DINIZ, A. E. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 8 ed. São Paulo. Artliber, 2013.

KLOCKE, F; KRIEG,T. Coating tools for metal cutting – Features and applications. **Annals of the Cirp**, v. 48, p.515-525, 1999.

KLOCKE, F.; EISEMBLÄTER, G.: Dry cutting. **Annals of the Cirp**, v. 46, n° 2, p. 519-526, 1997.

MACHADO, A. R; ABRÃO, A. M.; **Teoria da usinagem dos materiais**. 3 ed. São Paulo. Ed Blucher. 2009.

MATZEMBACHER, L. **A tecnologia wiper no torneamento de eixos**. Tese de Pós Graduação. PUCRS 2005.

MICARONI, R; Diniz, A. E. **Uma comparação entre o desempenho de pastilhas alisadora e convencional, com e sem a presença de fluido de corte, em operações de torneamento**. Tese de Mestrado. Unicamp. Campinas. 2004.

NOVASKI, O; DÖRR, J. **Usinagem sem refrigeração. Máquinas e Metais**, São Paulo. Ed Aranda, n4 398, p. 18-27, 1999.

OLIVEIRA, A. **Otimização das condições de usinagem visando o torneamento a seco do aço ABNT 1045 em operação de desbaste**. Dissertação de Mestrado. Unicamp. 2003.

PECNER E BERNSTEIN; **Resistência mecânica dos aços inoxidáveis**, 1977.

RUPPI, S; HALVARSSON, M. The investigation of wear mechanisms during metal machining. **Thin Solid Films**, v. 353, p. 182 – 188. 1999.

SANDVIK, **Catálogo técnico do fabricante de ferramentas**, 2015.

SANDVIK, **Catálogo técnico do fabricante de ferramentas**, SANDVIK 2015-01.

SANDVIK, **O metal duro passado a limpo**. Revista O Mundo da Usinagem. v.44, 2007.

SANDVIK, **Segurança e rapidez com a classe da vanguarda**. Revista *MetalWorking World*. v.1, 2005.

SANDVIK, Titânio-prós e contras. Informativo. 2005.

SANDVIK. Revista O Mundo da Usinagem –v 1. 2001

STOETERAU; R. L. **Fundamentos dos processos de usinagem**. Escola politécnica da universidade de São Paulo. São Paulo. 2003.

TOTTEN, G.E.; HOWES, M.A.H. **Steel heat treatment handbook**, 1 Ed. New York: Marcel Dekker Publisher, 1997. 1192 p.

VALÉRIO, M. **Usinagem e seus fundamentos**. Mestrado. UNESP. Guaratinguetá. 2015.

VILLARES METALS. Aço VC10. Disponível em:
<www.villaresmetals.com.br/villares/pt/Produtos/Acos-Ferramenta/Aplicacoes/Aplicacao-mecanica/V52100>