

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS/ UNIS-MG
ENGENHARIA MECÂNICA
ARY DE SOUZA CARVALHO FILHO

N. CLASS.	M 671.35
CUTTER	F478 m
ANO/EDIÇÃO	2013

**MELHORAMENTO DO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO DAS CABEÇAS DAS
VÁLVULAS DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA ATRAVÉS DA ANÁLISE
DOS ABRASIVOS: óxido de alumínio e carboneto de silício**

Varginha

2013

ARY DE SOUZA CARVALHO FILHO

**MELHORAMENTO DO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO DAS CABEÇAS DAS
VÁLVULAS DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA ATRAVÉS DA ANÁLISE
DOS ABRASIVOS: óxido de alumínio e carboneto de silício**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas UNIS – MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel orientado pelo Prof. Me. Luiz Carlos Vieira Guedes.

Varginha

2013

ARY DE SOUZA CARVALHO FILHO

**MELHORAMENTO DO PROCESSO DE RETIFICAÇÃO DAS CABEÇAS DAS
VÁLVULAS DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA ATRAVÉS DA ANÁLISE
DOS ABRASIVOS: óxido de alumínio e carboneto de silício**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia
Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas
UNIS – MG como pré-requisito para obtenção do grau
de bacharel sob a avaliação da banca:

Aprovado em / /

Prof. Me. Luíz Carlos Vieira Guedes

Prof. Esp. Rullyan Marques Vieira

Prof. Esp. Luciene de Oliveira Prósperi

OBS.:

A dedicação deste trabalho, a priori, é para meu tio, Manoel Rômulo, grande amigo e conselheiro. E a todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu alcançasse esta realização pessoal.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por todos estes anos de luta, aos meus pais, dos quais sem o apoio não alcançaria tal conquista, às minhas irmãs, minha namorada e a todos que contribuíram para esta conquista.

“A morte de qualquer homem diminui-me,
porque eu estou englobado na humanidade.”

Carl Jung

RESUMO

Este trabalho demonstra o resultado da comparação do desempenho dos rebolos, óxido de alumínio e carboneto de silício, na retificação das cabeças das válvulas de motores de combustão interna. Tal abordagem é necessária devido à usinagem já existente, com rebolo de óxido de alumínio, não proporcionar resultados ideais ao processo. A finalidade deste estudo é demonstrar qual dos dois tipos de rebolos possui melhor desempenho como ferramenta no processo, melhorando o acabamento superficial das faces (região a ser usinada) das cabeças das válvulas e proporcionando melhor assentamento e vedação das mesmas, conseqüentemente, também melhorando o desempenho dessas válvulas no funcionamento do motor de combustão interna. Este objetivo será conseguido mediante ao estudo de caso da eficiência dos rebolos, onde se analisa granulometria, estrutura, dureza, tipo de material e aglutinante. Além de resultados obtidos através de uma máquina criadora de vácuo, que corroboram com os resultados alcançados no estudo da eficiência dos rebolos. O estudo evidenciou que o rebolo de óxido de alumínio, já existente no processo, é mais eficiente do que o rebolo de carboneto de silício sugerido para substituição, devido a sua maior compatibilidade de usinagem com ligas de aço de cromo-níquel. Ligas estas presentes na constituição das cabeças das válvulas de motores a combustão interna. O estudo conclui que a adoção de aspectos não abordados nesse processo, como a presença de um fluido de refrigeração na retificação, se inseridos mediante a pesquisa, podem ser relevantes para os resultados finais.

Palavras-chave: Usinagem. Rebolos. Válvulas. Óxido de alumínio. Carboneto de silício.

ABSTRACT

This work demonstrates the result of the comparison of the performance of the aluminum oxide grindstone and the silicon carbide grindstone in the rectification from the valve heads of internal combustion engines. Such approach is necessary due to the existing machining, with the aluminum oxide grindstone, not provide optimal results to the process. The purpose of this study is to show which of the two grinding wheels has better performance as a tool in the process, improving the surface finish of the faces (area to be machined) of the valve heads and providing improved seating and sealing thereof, thus also improving performance of these valves in the operation of the internal combustion engine. This objective will be achieved through the case study of the efficiency of the grindstones, where the grain size, structure, hardness, type of material and agglutinant analysis. In addition to the results obtained through the vacuum machine, which corroborate with the results obtained in the study of the efficiency of the grindstones. The study showed that the aluminum oxide grindstone, existing in the process, is more efficient than the silicon carbide grindstone suggested for the replacement due to their better compatibility with the nickel-chromium steel alloy machining. These alloys are present in the constitution of the head of the valves from the internal combustion engine. The study concludes that the adoption of aspects not aborted in this process, such as the presence of a coolant in the rectification, if inserted in the research, could be relevant for results.

Keyword: *Machining. Grindstone. Valves. Aluminum oxide. Silicon carbide.*

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Escala de Mohs (1812).....	15
Quadro 2- Dureza pelo método de Knoop	15
Quadro 3 - Classificação de granulometria em "mesh".	16
Quadro 4 - Especificação do grau de dureza.....	17
Quadro 5 - Composição química dos eletro-coríndons.....	22
Quadro 6 - Composição química dos rebolos de carboneto de silício.	24

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 USINAGEM	12
2.1 Retificação	12
2.1.1 Usinagem com ferramentas com gumes geometricamente indefinidos	12
2.2 Rebolos	12
2.2.1 Especificação.....	13
2.2.2 Seleção de rebolos	13
2.2.3 Abrasivos.....	14
2.2.4 Granulometria.....	16
2.2.5 Dureza	17
2.2.6 Ligante ou aglutinante	17
2.2.7 Estrutura	17
3 VÁLVULAS DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA E MÁQUINAS PARA A SUA RETIFICAÇÃO	19
3.1 Válvulas	19
3.2 Máquinas retificadoras	19
4 ESTUDO DE CASO	21
4.1 Abrasivos utilizados no processo analisado	21
4.1.1 Tipo de abrasivo utilizado anteriormente no processo em análise (óxido de alumínio). 21	
4.1.2 Tipo de abrasivo proposto para substituir o anteriormente utilizado (carboneto de silício)	22
4.2 Granulometria adotado no processo em análise	24
4.3 Dureza adotada no processo em análise	24
4.4 Aglutinante adotado no processo em análise	25
4.5 Estrutura utilizada no processo em análise	25
4.6 Características da máquina retificadora de válvulas utilizada no processo	25
5 RESULTADO E DISCUSSÃO	27
5.1 Observações sobre possíveis análises de custos	28
6 CONCLUSÃO	29
REFERÊNCIAS	30

1 INTRODUÇÃO

Este trabalho demonstra o resultado da comparação do desempenho dos rebolos, óxido de alumínio e carboneto de silício, na retificação das cabeças das válvulas de motores de combustão interna.

Tal abordagem é necessária devido à usinagem já existente, com rebolo de óxido de alumínio, não proporcionar resultados ideais ao processo.

É importante ressaltar a importância do trabalho para a prática de usinagem de válvulas constituídas de aços ligas.

A finalidade deste estudo é demonstrar qual dos dois tipos de rebolos possui melhor desempenho como ferramenta no processo, melhorando o acabamento superficial das faces (região a ser usinada) das cabeças das válvulas e proporcionando melhor assentamento e vedação das mesmas, conseqüentemente, também melhorando o desempenho dessas válvulas no funcionamento do motor de combustão interna.

Este objetivo será conseguido mediante ao estudo de caso da eficiência dos rebolos, onde se analisa granulometria, estrutura, dureza, tipo de material e aglutinantes. Além de resultados obtidos através de uma máquina criadora de vácuo, que corroboram com os resultados alcançados no estudo da eficiência dos rebolos. Com esses estudos busca-se alcançar um melhor desempenho na retificação utilizando o rebolo de carboneto de silício do que utilizando um rebolo de óxido de alumínio. Rebolo esse de óxido de alumínio já utilizado na operação anteriormente ao estudo proposto no trabalho que segue.

2 USINAGEM

O termo usinagem significa submeter um material a um processo mecânico para se transformar em uma peça através da remoção de material. Dentro dos vários processos de usinagem, como brunimento, fresamento, perfuração, entre o existe o processo chamado de retificação.

2.1 Retificação

A utilização da retificação como um processo de usinagem na indústria metal mecânica é normalmente feita para alcançar resultados de acabamento do material, sendo muita das vezes, a última operação de todo um processo de várias outras operações (STEMMER, 1995).

2.1.1 Usinagem com ferramentas com gumes geometricamente indefinidos

Nessa operação, a remoção de material realiza-se através da ação de grãos abrasivos de alta dureza, que atuam soltos ou unidos por ligante segundo Stemmer (1992).

Ainda segundo o autor utiliza-se abrasivos ligados em diversos processos de usinagem, porém, neste estudo específico, o processo abordado será apenas a retificação utilizando rebolos.

2.2 Rebolos

Rebolos são as ferramentas utilizadas no processo de retificação, a qual é definida por Ferraresi (1924) como um processo de usinagem que, com o auxílio de ferramentas abrasivas de revolução, obtêm-se superfícies específicas.

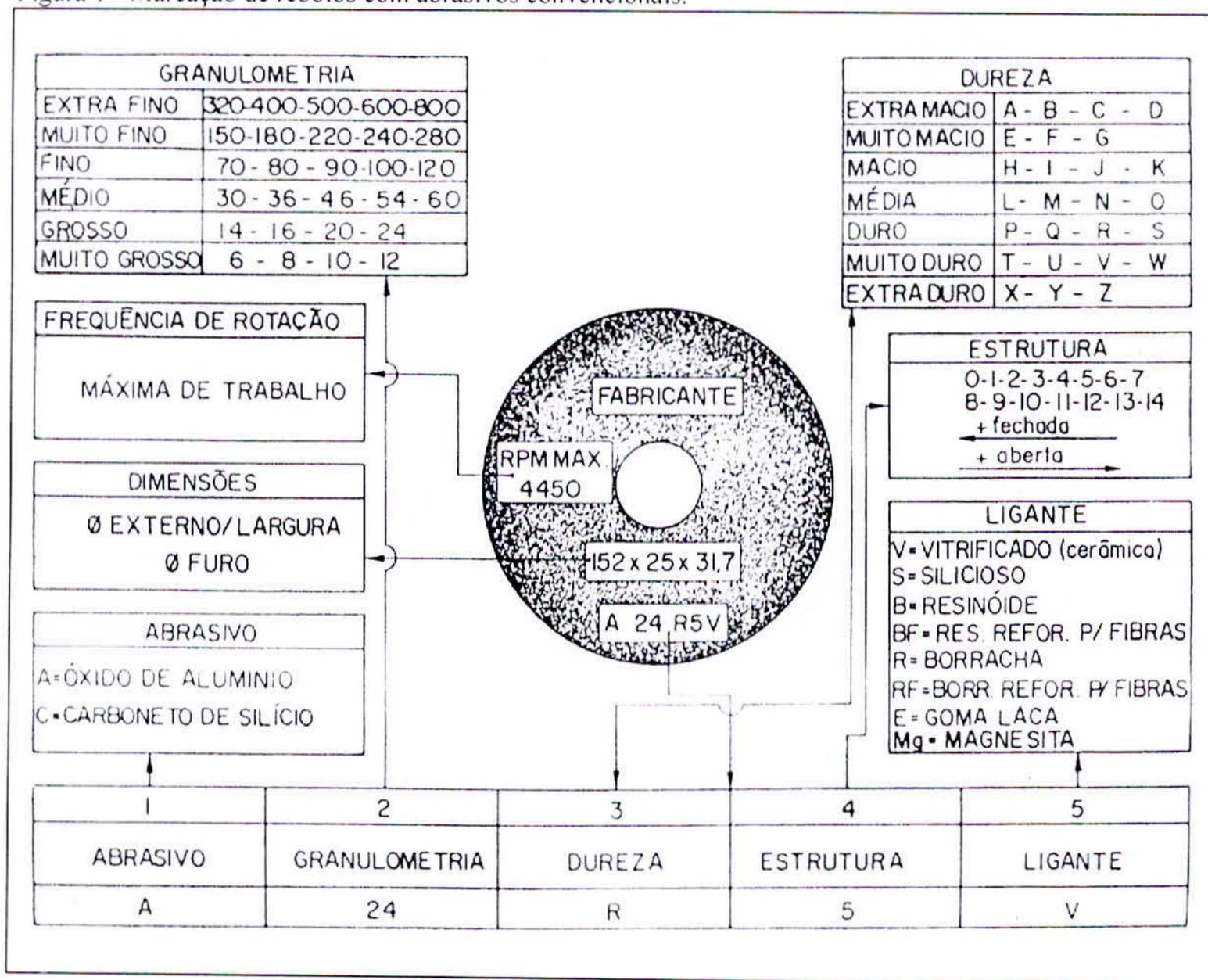
O tema proposto baseia-se basicamente e principalmente neste método de usinagem é importante saber que rebolo é uma ferramenta constituída de um aglomerado de material duro (material abrasivo), juntamente com um elemento ou um conjunto de elementos ligantes (elementos que possuem função quase que exclusiva de aglomeração do material abrasivo) (STEMMER, 1992).

2.2.1 Especificação

Os rebolos são identificados através de marcação padronizada pelas normas.

Para rebolos com abrasivos de óxido de alumínio e carboneto de silício, as normas ABNT NBR 6166, DIN 69100, ISO/R525-1966 são bastante semelhantes, diferenciando-se apenas em alguns detalhes. A figura abaixo mostra um exemplo de marcação padronizada destes rebolos.

Figura 1 - Marcação de rebolos com abrasivos convencionais.



Fonte: (STEMMER, 1992, p. 286)

2.2.2 Seleção de rebolos

Através dos autores Ferraresi e Stemmer, são cinco características que definem um rebole: tipo de abrasivo; granulometria; dureza do rebole; tipo de ligante ou aglutinante e estrutura. Mas, a determinação destas características depende de dois tipos de fatores:

- a) Fatores constantes - São especificados no projeto da peça e não podem ser modificados. São eles: material a retificar; precisão no grau de acabamento desejado; superfície de contato entre a peça e o rebolo e natureza da operação.
- b) Fatores variáveis - Estes podem ser modificados no chão da fábrica. São eles: velocidade do rebolo; velocidade de avanço ou pressão entre a peça ou rebolo; estado de retifica e características pessoais do operador.

2.2.3 Abrasivos

Antes do século XX os abrasivos, segundo Nussbaum (1988), existentes eram apenas os abrasivos naturais e eles possuíam em sua constituição 40% de óxido de ferro, 60% de óxido de alumínio e possuíam a dureza inferior a 9 Mohs. Já no século XX surgem os abrasivos artificiais ou sintéticos que diferentemente dos abrasivos naturais possuem alto grau de dureza, se comparados aos naturais, e são divididos em duas categorias basicamente: silicosos e aluminosos.

Esses últimos citados surgem, principalmente, devido a grande necessidade de tolerâncias mais estreitas na fabricação e também a utilização mais intensiva da retificação, assegurando melhores acabamentos superficiais e medidas mais precisas, constituindo esses, em cinco tipos. (STEMMER, 1992).

De acordo com Stemmer (1992), os abrasivos artificiais são:

- a) Al_2O_3 – utilizado na retificação de aços carbono, aço liga, aço rápido, ferro fundido maleável e nodular, bronze duro.
- b) B_4C – usado somente sobre forma solta para lapidação.
- c) SiC – para ferro fundido cinzento, ferro fundido coquilhado, não ferroso e não metálicos.
- d) Diamante – usual em metais duros, quartzo, granito, cerâmica e mármore.
- e) CBN – para metais duros, aço rápido e aços liga temperados.

Nessa pesquisa interessará apenas os abrasivos identificados como óxido de alumínio e carboneto de silício.

Na utilização de abrasivos a análise de sua dureza é uma qualidade importante e fundamental para o processo. Como classificação da dureza dos minerais é usada, entre outras, a escala clássica chamada Mohs (sendo o menor valor 1 e o maior valor 10). Quanto maior o valor na escala maior a sua dureza. Como a escala de Mohs não apresenta dureza intermediária e a variação da dureza 9 para 10 é bem maior do que de 1 a 9, pode-se utilizar

também o método de knoop padronizado pelo NIST (National Institute of Standards and Technology) dos Estados Unidos (STEMMER, 1992).

As tabelas abaixo mostram os abrasivos e suas respectivas durezas em ambas as escalas:

Quadro 1 - Escala de Mohs (1812)

Dureza	Mineral	Composição química	Observações
1	Talco	$Mg_3 (Si_4 O_{10}) (OH)_2$	
2	Gesso	$CaSO_4, 2H_2O$	Unha = 2 ⁺
3	Calcita	$CaCO_3$	± moeda de cobre
4	Fluorita	CaF_2	
5	Apatita	$CA_5 (F, Cl, OH) (PO_4)_3$	Lâmina canivete = 5 ⁺
6	Feldspato	$K Al Si_3 O_8$	Vidro de janela = 5,5
7	Quartzo	$Si O_2$	Linha de aço = 6,5
8	Topázio	$Al_2 (SiO_4) (F, OH)_2$	
9	Coríndon	$Al_2 O_3$	= corundum
10	Diamante	C	

Fonte: (STEMMER, 1992, p. 272)

Quadro 2- Dureza pelo método de Knoop

Abrasivo	Dureza knoop [K100]	Dureza Mohs
Diamante	5000 a 7000*	10
CBN	4700	-
B4C	2230 a 2760	-
SiC	2450 a 3000	-
$Al_2 O_3$	2150	9
WC	1880	-
Granada	1350	8
Quartzo	820	7
Vidro	450 a 500	5,5

* Depende da orientação do cristal.

Fonte: (STEMMER, 1992, p. 272)

Os abrasivos silicosos são constituídos de carboneto de silício, feitos em fornos elétricos, com 9,6 Mohs de dureza. Recomendado para metais de fraca resistência a tração (ferro fundido, latão, cobre, alumínio e materiais não metálicos) (NUSSBAUM, 1988).

Já abrasivos aluminosos são obtidos pela fusão da bauxita (minério de óxido de alumínio, silício e ferro) em fornos elétricos, obtendo dureza de 9,4 Mohs e são recomendados para usinagem de metais mais resistentes a tração, como o aço e o bronze fosforoso (NUSSBAUM, 1988).

A escolha do abrasivo ideal deve ser feita através do tipo de operação e qual as propriedades que o material a ser usinado possui (NUSSBAUM, 1988).

Rebolos formados de óxido de alumínio são mais indicados na usinagem de materiais de alta resistência à tração. Exemplos: aço carbono, aço liga, aço rápido, ferro maleável recozido, ferro batido, bronzes. Para rebolos formados por carbonetos de silício a usinagem mais adequada é para aqueles materiais que possuem baixa resistência à tração. Exemplos: ferro fundido cinzento, ferro fundido em coquilhas (molde metálico de fundição), latão, bronze macio, alumínio, cobre, ligas muito duras, carbonetos cimentados e materiais não metálicos (NUSSBAUM, 1988).

2.2.4 Granulometria

De acordo com Stemmer (1992) uniformidade e as dimensões dos grãos são características relevantes nos processos de usinagem com abrasivo. A unidade de medida mais usual é a “mesh” da norma norte americana ANSI Standard B 74.12-1977.

Ainda segundo Stemmer (1992) os grãos mais grossos são utilizados em rebolos para operações de limpeza e também de corte, enquanto que, grãos mais finos são usados para polimento e lapidação. Veja a classificação aproximada abaixo.

Quadro 3 - Classificação de granulometria em "mesh".

Finíssimo	400	500	600	800	1000	1200
Muito fino	150	180	220	280	320	
Fino	70	80	90	100	120	
Médio	30	36	46	54	60	
Grosso	14	16	20	24		
Muito grosso	6	8	10	12		

Fonte: (STEMMER, 1992, p. 281).

2.2.5 Dureza

Tem por definição ser a resistência oposta ao arrancamento de grãos.

Stemmer (1992) diz que a força oposta ao arrancamento dos grãos deve ser suficiente para que suas arestas vivas possam remover material, mas, insuficientes para reter grãos com desgastes e arredondados.

Para especificar a dureza são utilizadas letras maiúsculas. Veja a tabela abaixo:

Quadro 4 - Especificação do grau de dureza.

Extra - macio	A - B - C - D - E - G
Macio	H - I - J - K
Médio	L - M - N - O
Duro	P - Q - R - S
Extra - duro	T - U - W - Z

Fonte: (STEMMER, 1992, p. 285).

2.2.6 Ligante ou aglutinante

Aglutinantes são conhecidos também por ligantes e esses são responsáveis por fazer a união dos grãos uns com os outros e algumas vezes, a união dos grãos ao suporte (STEMMER, 1992).

Segundo Stemmer (1992) a divisão dos aglutinantes se dá entre dois grupos distintos: aglutinantes orgânicos e aglutinantes inorgânicos. Veja a simbologia abaixo:

- a) Aglutinantes orgânicos: E; R; B.
- b) Aglutinantes inorgânicos: V; S; O; M.

Os aglutinantes orgânicos são: gomo-laca (símbolo E); borracha (símbolo R); resinóide (símbolo B). Já os aglutinantes Inorgânicos são: cerâmico ou vitrificado (símbolo V); silicioso (símbolo S); magnesita (símbolo O); metálico (símbolo M) (STEMMER, 1992).

Para a fabricação de um rebolo é necessário a utilização de agentes aglutinantes (ligas) que promovem a união dos grãos do abrasivo uns aos outros (NUSSBAUM, 1988).

2.2.7 Estrutura

Essa característica está relacionada com vão (espaçamento entre os grãos). Sua densidade não está relacionada necessariamente com esses espaçamentos, devido indeterminação da quantidade e do tamanho dos grãos. Mesmo que os rebolos possuam o mesmo número de poros (STEMMER, 1992).

De acordo com Stemmer (1992), a estrutura é indicada por números. Indicando 0, 1, 2, 3, uma estrutura fechada, aumentando a quantidade de arestas cortantes na extremidade (periferia do rebolo). E indicando 4, 5 e 6 para estrutura média e 7 a 12, estrutura aberta (STEMMER, 1992).

Os aspectos determinantes para a estrutura são: material; acabamento; tipo de trabalho.

3 VÁLVULAS DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA E MÁQUINAS PARA A SUA RETIFICAÇÃO

As válvulas são elementos fundamentais no funcionamento de um motor e o perfeito funcionamento delas está diretamente relacionado com o acabamento superficial dado na face de sua cabeça através de retificação por meio de máquinas específicas para essa operação.

3.1 Válvulas

Sabe-se que as válvulas de motores de combustão interna são elementos que possuem função de vedação e controle de entrada e saída fluidos. No caso das válvulas de admissão a o controle da entrada e da vedação do combustível utilizado no processo de combustão dentro dos cilindros, enquanto que, nas válvulas de escape a o controle da saída e da vedação dos gases decorrentes da combustão ocorrida também nos cilindros. Para abrir a válvula é necessária a ação do “câmes” do comando de válvulas e quando não há mais a ação do mesmo a válvula retorna porque está presa na mola de válvula através de chavetas em sua haste mais precisamente em seu pé ou base. O curso de abertura da válvula corresponde a alguns milímetros já a frequência deste ciclo é muito alta e proporcional a rotação do motor. A válvula abre e fecha incansavelmente e sofre com o calor direto da explosão dentro da câmara enquanto o motor funciona sendo apenas refrigerada pelo sistema de arrefecimento e lubrificada em seu guia, onde corre, pelo sistema de lubrificação do motor (INFOMOTOR, 2009).

As “principais partes” de uma válvula são: cabeça, na qual o material utilizado na construção são ligas de aço carbono que resistem a altas temperaturas e onde se situa a região de retificação chamada de face ou sede; Haste, a qual possui a função de unir a cabeça ao pé e que em alguns casos não é maciça para diminuir seu peso; Pé ou base, no qual se situa de uma a três depressões normalmente para a fixação das chavetas (INFOMOTOR, 2009).

3.2 Máquinas retificadoras

As máquinas retificadoras possuem características como: RPM do rebolo , RPM da árvore, frequência, potência e rendimento.

Nem todas as características fornecidas na máquina são de suma relevância para um processo de retificação, porém, algumas não podem ser deixadas de ser observadas devido à

direta influencia na escolha do rebolo, conseqüentemente na qualidade final da operação, e fundamentalmente na segurança.

A característica fundamental da máquina para a escolha do rebolo apropriado é o RPM máximo alcançado por este quando acoplado junto à máquina.

4 ESTUDO DE CASO

Através dos conceitos acima, já existentes na literatura e previamente transcritos para esse estudo, parte-se para as análises do caso.

4.1 Abrasivos utilizados no processo analisado

Os abrasivos em análise nesse caso são o óxido de alumínio, já existente no processo e carboneto de silício, proposto para substituição.

4.1.1 Tipo de abrasivo utilizado anteriormente no processo em análise (óxido de alumínio).

Nesse processo de retificação da cabeça das válvulas de motores de combustão interna utilizava-se um rebolo de óxido de alumínio cristalino ou coríndon.

De acordo com Stemmer (1992), distingue-se o coríndon em normal, médio e extra. Sua fabricação é através da matéria prima bauxita que consiste de óxido de alumínio hidratado com quantidades variáveis de impurezas, como sílica, SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 e menores quantidades de outros tipos de impurezas. O volume de água varia consideravelmente.

Veja um rebolo de óxido de alumínio na figura abaixo:

Figura 2 - Rebolo de óxido de alumínio.



Fonte: MERCADO DOS ABRASIVOS, 2013.

Dentre os processos de fabricação do rebolo de coríndon o mais comumente utilizado é o de fundição.

A partir do controle de impurezas ou aditivos contidos na matéria prima, pode-se alcançar uma vasta variedade de propriedades químicas e físicas do óxido de alumínio, isso mediante a condução do processo de fusão e também pela velocidade de esfriamento da massa.

Quadro 5 - Composição química dos eletro-coríndons

Composto	Qualidade do óxido de alumínio		
	Normal	Média	Extra
Al ₂ O ₃	95,16%	97,41%	99,16%
SiO ₂	1,35%	0,56%	0,01%
TiO ₂	3,12%	1,71%	-
Fe ₂ O ₃	0,37%	0,39%	0,19%
Na ₂ O	-	-	0,64%
Cor	Marrom escuro	Marrom claro - cinza	Branco

Fonte: (STEMMER, 1992, p. 275)

4.1.2 Tipo de abrasivo proposto para substituir o anteriormente utilizado (carboneto de silício)

Segundo a empresa Tungstek do Brasil (2013) o Carboneto de Silício é um material de elevada resistência a erosão, corrosão e alta ciclagem térmica. O carboneto de silício possui como características ser de granulação ultrafina e possuir alta dureza, leveza, pureza, alta condutibilidade térmica e baixo coeficiente de expansão térmica. Tem resistência à compressão 10 vezes superior à sua resistência a tração. É 50% mais duro que o Carboneto de Tungstênio e 10 vezes mais do que aços inoxidáveis tratados. Esta extrema dureza combinada com alta pureza e microestrutura fina fazem com que o Carboneto de Silício seja altamente resistente ao desgaste erosivo. Sua porosidade baixa e inércia química propiciam trabalhar muito bem em ambientes de gases e líquidos quentes, atmosferas oxidantes e corrosivas como ácidos fortes e álcalis, mesmo em temperaturas extremamente altas (1.900 °C). Entre as aplicações mais frequentes destacam-se: componentes de queimadores, fornos e peças sujeitas a altas temperaturas, trocadores de calor, anéis para selos mecânicos, válvulas e peças afins, bicos, pulverizadores e componentes de máquinas de jateamento de granalhas, rolamentos, tubulações e componentes sujeitos a processos químicos, dessulfuradores, buchas e grelhas

sujeitas a erosão, corrosão e temperaturas elevadas, componentes usados em indústrias alimentícias, etc. Sua habilidade e resistência a corrosão com seu excelente acabamento superficial faz com que este material seja especialmente indicado nas aplicações envolvendo gases e líquidos corrosivos em altas temperaturas. Em se tratando de Corrosão, possui resistência superior a materiais como Carboneto de Tungstênio e Óxido de Alumínio. Em processos erosivos, leva ligeira vantagem com relação ao Carboneto de Tungstênio, devido à sua baixa densidade, dureza e acabamento superficial.

Segundo outro autor, Stemmer (1992), o carboneto de silício é obtido em fornos elétricos de resistência, causando a fusão de uma mistura de coque e areia sílica. O carboneto de silício foi obtido artificialmente nos anos 1851 por Edward G. Acheson.

Veja um rebolo de carboneto de silício na figura abaixo:

Figura 3 - Rebolo de carboneto de silício.



Fonte: BERTOLOTTI INDUSTRIAL, 2013.

Ainda segundo Stemmer (1992), o carboneto de silício possui elevada dureza, situada entre os abrasivos coríndon e diamante, na escala de Mohs. Sua condutividade térmica é elevada e sua capacidade de fraturas é considerada boa. É considerado um bom isolante elétrico quando opera a frio, mas, de acordo com seu aquecimento no processo, sua condutividade elétrica melhora atingindo a 2000 ° C a mesma condutividade elétrica do grafite. O carboneto de silício é muito utilizado na fabricação de rebolos.

O carboneto de silício possui elevada estabilidade química, não sendo atacado pelos ácidos sulfúricos, nítrico, fluorídrico, clorídrico e água régia, mesmo na presença de altas

temperaturas. Seu ponto de amolecimento e recristalização são, respectivamente, por volta de 2000 ° C e 2400 ° C.

De acordo com Stemmer (1992), as propriedades do carboneto de silício, são diferentes conforme a percentagem de impurezas e da posição, dentro do forno, em que foi obtido.

Quadro 6 - Composição química dos rebolos de carboneto de silício.

Componente	Carboneto de Silício Preto	Carboneto de Silício Verde
SiC	98,26%	99,66%
Carbono livre	0,19%	0,29%
Outros elem. (Al, Mg, Ca)	1,26%	-
Fe	0,10%	0,02%
Si	0,19%	0,03%
Cor	Preto a preto esverdeado	Verde claro a verde escuro

Fonte: (STEMMER, 1992, p. 279)

4.2 Granulometria adotado no processo em análise

O rebolo de óxido de alumínio já existente no processo contem granulometria classificada em muito fino (150 mesh), o que nesse processo analisado é de fundamental importância porque, como já se espera, grãos abrasivos mais finos acarretam melhor acabamento superficial.

No rebolo de carboneto de silício, proposto como a possível ferramenta abrasiva de substituição no processo analisado, classifica-se a granulometria como finíssimo (500 mesh) ideal para o processo devido à alta necessidade de acabamento superficial.

4.3 Dureza adotada no processo em análise

A dureza do rebolo de óxido de alumínio é classificada como macio (dureza L). Valor esse bom para o processo devido à compatibilidade com o grau de dureza do material de constituição da peça (ligas de aço).

No rebolo de carboneto de silício proposto, a dureza também é classificada como macio (dureza J), valor esse muito bom também devido ao grau de dureza do material envolvido no processo.

4.4 Aglutinante adotado no processo em análise

Os aglutinantes, segundo os autores Stemmer (1992) e Ferraresi (1924), possuem maior influência em características como na precisão e grau de acabamento superficial e natureza de operação. Já em características como área de contato e o material retificado, essa última abordada nesses estudos, não causam influências ou dependem muito pouco do material da peça, e sim, estão relacionadas com maior relevância aos fatores variáveis.

Os vitrificados ou cerâmicos (ligas vitrificadas) são os aglutinantes formados por materiais naturais como argila, quartzo e feldspato que após combinados quimicamente e em altas temperaturas (aproximadamente 1200° C), formam uma estrutura vitrificada de extrema rigidez, porém frágil a impactos e grandes pressões de trabalho (NUSSBAUM, 1988).

De acordo com Stemmer (1992), os aglutinantes vitrificados constituem aproximadamente 75% de todos os aglutinantes utilizados na construção de rebolos. Suas principais características são: agressividade dos grãos devido a sua porosidade; elasticidade muito baixa, devido a sua natureza vítrea; resistência ao calor e ao frio quando não há choques térmicos; insensível a reações químicas frente à água, fluidos de corte, óleo, gases, ácidos entre algumas outras composições. Normalmente recomenda-se velocidades de 23 à 33 m/s na operação com esses rebolos.

As ligas vitrificadas são indicadas para usinagens de alta precisão como, por exemplo, polimento de comando de válvulas e virabrequins (NUSSBAUM, 1988).

Devido aos conceitos acima citados, foi convencionada a utilização de um aglutinante vitrificado (V) para o processo em análise.

4.5 Estrutura utilizada no processo em análise

Adota-se no processo, para rebolo de carboneto de silício, uma estrutura fechada de valor 3. Isso porque estruturas fechadas são mais indicadas para materiais mais duros (Exemplo: ligas de aço), e para melhores acabamentos superficiais (STEMMER, 1992).

Assemelhando-se com as características do material de constituição da peça do processo em análise (cabeças das válvulas).

4.6 Características da máquina retificadora de válvulas utilizada no processo

Suas características são as seguintes:

- a) RPM máximo no rebolo: 3370
- b) RPM da árvore: 240
- c) Frequência: 60 Hz
- d) Potência: 0,5 Cv – 0,37 KW
- e) Rendimento: 73%

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

Sabe-se previamente através dos dados obtidos do quadro 5, que na qualidade do óxido de alumínio normal, que possui o maior valor de impurezas e conseqüentemente menor valor do seu principal composto o Al_2O_3 , posteriormente, sua pureza aproxima-se dos 96 %, o resultado é considerado mesmo assim, mais satisfatório. Isso porque o abrasivo carboneto de silício preto, obtido do quadro 6, que possui o maior valor de impurezas, conseqüentemente, menor valor do seu principal composto SiC, tem aproximadamente 99 % de pureza. Como já foi relatada no estudo, a constituição das cabeças das válvulas de motores de combustão interna são normalmente de ligas de aço (Ex.:cromo-níquel) e que o composto Al_2O_3 é mais apropriado a estas ligas em relação ao composto SiC, concluindo-se que, quanto maior a presença deste composto abrasivo Al_2O_3 na constituição de um rebolo, melhor sua retificação em peças de constituição de ligas de aço em relação ao composto SiC.

Para corroborar com as conclusões acima citadas, os resultados reais obtidos também não foram satisfatórios. Apesar da utilização do rebolo abrasivo anterior óxido de alumínio não proporcionar qualidade totalmente desejada, sua substituição por um rebolo abrasivo de carboneto de silício não ajudou no melhoramento da retificação devido a não indicação desses mesmos para aços ligas. Comprovou-se no vacuômetro que, com as cabeças das válvulas retificadas com rebolos abrasivos de coríndon os valores obtidos ficaram em aproximadamente -500 mbar, enquanto que as sedes retificadas com rebolos de carboneto de silício apresentavam variação entre -150 à -200 mbar. Segundo CONAREM (conselho nacional de retificas de motores), os valores ideais devem estar entre -550 à -650 mbar.

O rebolo abrasivo constituído de óxido de alumínio, por ser indicado para ligas de aço, pode ter seus valores melhorados através de outras “características e fatores não abordados nos estudos dessa pesquisa”. Exemplos: dentre características: agentes ligantes, estrutura, entre outras; dentre fatores: fatores variáveis.

Outro método que pode trazer melhoras no resultado segundo Stemmer (1992), que também não foi abordado nesses estudos, é a adoção de refrigeração no processo de retificação por meio de óleos e emulsões, por exemplo, podendo haver a melhora de aspectos como: redução de atrito entre a os grãos da ferramenta e a superfície da peça; limpeza do rebolo, com a remoção dos cavacos; proteção a corrosão das máquinas e das peças; refrigeração da superfície da peça; arraste dos cavacos e dos resíduos do rebolo.

5.1 Observações sobre possíveis análises de custos

Não se levou em consideração os custos de adequação do processo, porque seu principal objetivo é alcançar uma melhora na qualidade da usinagem já que os valores anteriores também não eram totalmente satisfatórios. Além da falta de outros fatores não utilizados pela empresa em que se retirou o estudo de caso, isso, devido a não existência de ferramentas de controle como: produção por tempo; custo da ferramenta de usinagem especificado (devido a não exclusividade de fornecedor); inconstância do processo; dados não fornecidos pela mesma devido a segredo industrial.

6 CONCLUSÃO

É oportuno ressaltar que nesse trabalho foi observado que não seria apropriada a adoção de um rebolo constituído de carboneto de silício devido a seu resultado inferior ao que se refere no acabamento superficial da face usinada da cabeça da válvula de um motor a combustão interna comparada ao acabamento superficial proporcionado pelo rebolo já existente no processo constituído de óxido de alumínio. Isso porque se concluiu que o óxido de alumínio é mais apropriado para a usinagem de peças constituídas de aços ligas como cromo-níquel, isto, quando analisado apenas nas relevâncias abordadas neste trabalho.

Em todo o estudo proposto nesse processo analisado, características fundamentais para o desenvolvimento na área de usinagem, especificamente na retificação de peças por rebolos abrasivos, foram observadas e refletidas.

Observou-se que nem sempre características ditas primordiais no processo foram por si só, determinantes no resultado. Precisou sobre essas, observação com um olhar mais aguçado para chegar a resultados mais satisfatórios, sejam estes, para solucionar o problema proposto no processo analisado, sejam estes, para demonstrar que outros fatores, características e aspectos, não utilizados como plataforma de pesquisas nestes estudos, seriam de essencial importância para a adequação do processo aos meios em que ele estava ocorrendo, como por exemplo, a utilização de um fluido de corte no processo para amenizar o atrito entre ferramenta e peça e manter a temperatura adequada no processo de usinagem. E ainda mais, notou-se também a necessidade de alguns destes fatores, características e aspectos, serem analisados de uma forma conjunta, correlacionando os valores que se obteve em um, com os valores que se obteve no outro, para somente assim apurar valores mais consistentes e resultados mais satisfatórios.

Finalmente, os estudos presenciados neste processo deram a convicção de que o processo de retificação por rebolos abrasivos é complexo e por isto deverá ser sempre encarado por pessoas e instituições de que dele necessitarem, seriamente e com grande desempenho, a fim de adentrar ao máximo seus conceitos, considerando estes conceitos indispensáveis para todo o seu bom funcionamento.

REFERÊNCIAS

- ABRASIPA. **Rebolos em liga**. 2012. (Catálogo técnico da Abrasipa). Disponível em: www.abrasipa.com.br/pt/produtos/polimento-de-metais/rebolos-em-liga-p.html. Acesso em: 27 set. 2013.
- BRASIL, Tungstek do. **Polimentos de metais**. 2011. (Catálogo Técnico da Tungstek) Disponível em: www.tungstek.com.br. Acesso em: 27 set. 2013.
- DIAS, A. M. 2005. Artigo: **Desenvolvimento e Fabricação de Componentes Sinterizados**. Versão 1. Tecsinter Metalurgia Ltda. Disponível em: www.tecsinter.com.br/ link 1: pesquisas link 2: aço de baixa liga para sede de válvulas. Acesso em: 20 mar. 2013.
- DINIZ, A. E., MARCONDES, F. C., COPPINI, N. L. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. São Paulo: MM Editora, 1999.
- FERRARESI, Dino. **Usinagem dos metais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977.
- INFOMOTOR. 2009. Disponível em: (<http://www.infomotor.com.br/site/2009/02/valvulas-de-admissao-e-escape-do-motor/>, 2009, acesso dia 27/09/2013). Acesso em: 27 set. 2013.
- MAHLE, driven by performance. **Retificação com abrasivos** (Catálogo Técnico da Mahle), 2012. Disponível em: [http://www.mahle.com/C1256F7900537A47/vwContentByKey/W28HPJTN971STULDE/\\$FILE/Manual_mahle_brochura%20-%20165-212.pdf](http://www.mahle.com/C1256F7900537A47/vwContentByKey/W28HPJTN971STULDE/$FILE/Manual_mahle_brochura%20-%20165-212.pdf). Acesso em: 27 set. 2013.
- NUSSBAUM, Guillaume Ch. **Rebolos e abrasivos: tecnologia básica**. São Paulo: Icone, 1988.
- REBOLO PADRÃO BRANCO. **Rebolo de óxido de alumínio**. Disponível em: http://www.mercadodosabrasivos.com.br/arquivos/ids/155557_10/rebolo_padrao_branco_big.jpg. Acesso em: 18 de setembro de 2013.
- REBOLO RETO KRONOS. **Rebolo de carbureto de silício**. Disponível em: http://www.bertolottiindustrial.com.br/ecommerce_site/arquivos9989/arquivos/1350674926_1.jpg. Acesso em: 18 de set. de 2013.
- STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de corte I**. 4. Ed. Florianópolis: UFSC, 1995.
- VIEIRA JR., M.; Libardi, R.; Cancilieri, H.A.; Lima A. Como o Calor pode Afetar a Integridade Superficial das Peças. **Revista Máquinas e Metais**, p. 28-36, fev. de 1999.