

Correlação do módulo de elasticidade e carga de compactação na estrutura de compósitos abrasivos resinóides

(Correlation of modulus of elasticity and load compaction in the structure of resin bond abrasive composites)

R. S. F. Bottairi¹, K. C. G. Candioto¹

¹Escola de Engenharia de Lorena – USP

Pólo-Urbo Industrial, Gleba Al-6, s/nº - Lorena – SP, Brasil 1

kcandioto@usp.br

Resumo

A compactação de compósitos abrasivos resinóides está diretamente relacionada às propriedades finais dos produtos, pois pode conferir estruturas mais fechadas ou abertas definindo as suas durezas. A correlação do processamento e suas propriedades servirão de aporte na determinação adequada da aplicação dos compósitos abrasivos resinóides nas indústrias. Compósitos abrasivos resinóides com 88,5%p de grão de óxido de alumínio e 11,5%p de ligante fenólico foram produzidos. Cargas variadas de compactação a frio foram realizadas no intuito de determinar a relação entre a carga de compactação e a estrutura final na formação destes compósitos. O projeto apresenta resultados da produção e caracterização por ensaios de Módulo de Young por excitação de impulso e determinação da porosidade pelo método de Arquimedes. Espera-se que com os resultados fundamentados em conceitos de engenharia e materiais seja possível desenvolver novas formulações e parâmetros diferenciados na fabricação de compósitos abrasivos resinóides e serem disponibilizados para a comunidade.

Palavras chave: compósitos abrasivos, módulo de elasticidade, resinas fenólicas, óxido de alumínio

Abstract

The compaction of resin bond abrasive composites is directly related to the final properties of the products, as it can promote more closed or open structures defining their hardness. The correlation of the processing and its properties will contribute to the proper determination and application of the resinoid abrasive composites in the industries. Resinoid abrasive composites with 88.5wt% aluminum oxide grain and 11.5wt% phenolic bond were produced. Variable loads of cold compaction were performed in order to determine the relationship between the compaction load and the final structure in the formation of these composites. The project presents results of the production and characterization of the Young's Modulus by impulse excitation and porosity by the Archimedes method. It is hoped that with results based on engineering concepts and materials it will be possible to develop new formulations and different parameters in the production of resin bond abrasive composites and provide to the community.

Keywords: abrasive composites, modulus of elasticity, phenolic resins, aluminum oxide

INTRODUÇÃO

Processos de usinagem por abrasão são aqueles em que são utilizados partículas granulares de alta dureza como ferramenta de corte. Esses processos são utilizados para alterar a superfície de peças, seja para a remoção eficiente e ágil de grande quantidade de material ou para acabamento fino em peças que exigem grande precisão em suas dimensões [1,2].

Há interesse na combinação adequada de grãos abrasivos e ligantes para que ocorra uma diminuição no custo por processo de remoção de material, sem que haja perda da qualidade final da peça. Tal redução pode ser alcançada pela utilização de materiais que apresentam grande disponibilidade no mercado ou pela redução do desgaste da ferramenta abrasiva, aumentando assim sua vida útil. Para tal, pode-se argumentar que a escolha do óxido de alumínio como grão abrasivo, devido a sua ampla aplicabilidade em processos abrasivos e menor custo que demais abrasivos, e de resinas fenólicas como ligantes, por conta de suas boas propriedades mecânicas, estabilidade térmica e resistência a altas pressões e temperaturas, se encaixa em tal perfil desejado de combinação [3,4].

Os ligantes resinoides são o tipo mais amplamente utilizado de ligantes para confecção de rebolos e são constituídos de uma resina sintética misturada ou não com aditivos, principalmente resinas fenólicas líquidas e em pó a base de novolaca hexametenotetramina, existindo uma grande variedade disponível para cada tipo de aplicação desejada [3].

Resinas do tipo resol podem ser curadas pela simples adição de calor, o que faz com que a resina assumira um estado de gel, que não é mais solúvel no meio (água ou álcool), de modo que ocorre a reticulação da resina enquanto o solvente é volatilizado [4]; resinas do tipo novolaca requerem a adição de um agente de reticulação além da adição de calor. Geralmente, utiliza-se hexametenotetramina; dentro da cadeia esse agente é responsável por fornecer formaldeído, que poderá reagir de diferentes maneiras com o fenol livre, causando a reticulação da resina [5]. Variações na estrutura são responsáveis pela alteração da densidade destes materiais, resultando em efeitos sobre a força de ligação e a dureza dos materiais e rebolos abrasivos [4].

Para avaliar tais efeitos, é interessante se ter informações sobre o módulo elástico dos materiais, visto que a partir de tais módulos é possível correlacionar propriedades como tenacidade, resistência do material e rigidez, dentre outras [6,7]. Uma das técnicas que permite a obtenção dos módulos de elasticidade é a técnica de excitação por impulso de ultrassom. A técnica de excitação por impulso de ultrassom permite a caracterização não-destrutiva do material, necessitando apenas causar um pequeno impacto mecânico na amostra para emissão

de som, calculando o módulo de elasticidade a partir das frequências naturais de vibração e da atenuação da resposta acústica [7].

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizados grãos abrasivos de óxido de alumínio fundido marrom BT de granulometria média (malha #46) doados pela empresa Elfusa Geral de Eletrofusão Ltda (São João da Boa Vista, SP) ligantes a base de resina fenólica novolaca e resol modificadas com agentes de cura furfural e hexametilenotetramina, fornecidos pela empresa SI Group Crios Resinas S.A. (Rio Claro, SP), especificadas na Tabela I.

Tabela I – Descrição das resinas utilizadas.

Resina	Tipo	Descrição
CR-2211	Novolaca em pó	Teor de 14,55% de hexa
CR-2745	Resol líquida	Álcool furfúrico como solvente

A Figura 1 apresenta o fluxograma da manufatura dos materiais abrasivos.

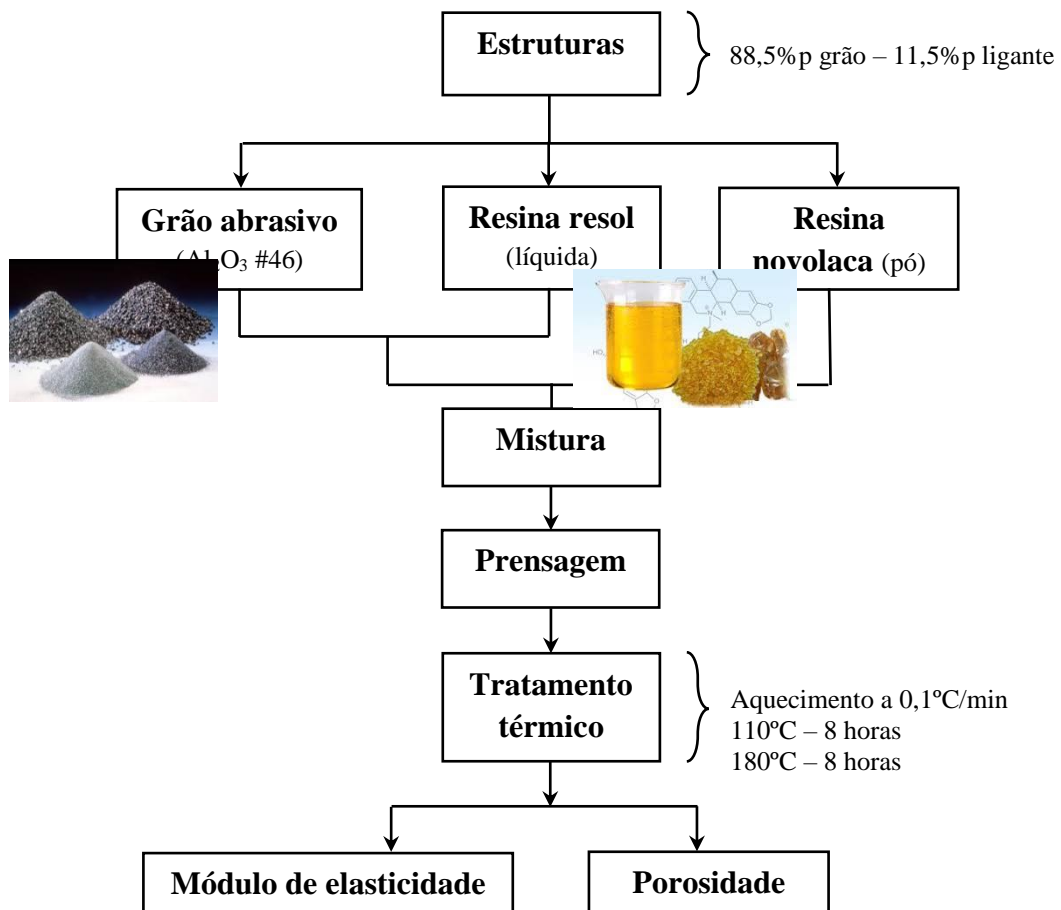


Figura 1 – Fluxograma da manufatura dos materiais abrasivos resinóides.

A preparação das misturas dos materiais abrasivos foi realizada nas combinações de resinas novalaca e resol em proporção 7:1 em massa, sendo estes os ligantes da composição do material. A composição do material foi estabelecida nas proporções de 88,5% grão – 11,5% ligante em massa antes do processo de cura.

A compactação foi realizada em prensa uniaxial de quatro colunas modelo P.H.B 40x20 com capacidade até 103 toneladas na temperatura ambiente com variadas cargas de compactação (limite de 130MPa) de forma a obter diferentes densidades e estrutura dos materiais abrasivos. De tal matriz foram obtidos corpos verdes de dimensões 25 x 114 mm e alturas variadas conforme a carga de compactação utilizada. O tratamento térmico realizado foi com aquecimento de 0,1°C / min e de duas isotérmicas de 110°C por 8 horas e 180°C por 8 horas, seguido de resfriamento lento até temperatura ambiente (Figura 2). Os tratamentos foram realizados utilizando estufa de secagem com circulação e renovação de ar SPLABOR modelo SP-102/64.

A determinação da perda de massa após tratamento térmico foi definida apenas considerando a perda de massa na resina resol tendo em vista ser o material que apresenta volatilização de gases em seu processo de cura e as demais matérias primas apresentam baixa volatilização podendo ser desconsideradas. Os ensaios para obtenção dos módulos de elasticidade foram realizados pela técnica de excitação por impulso de ultrassom. Os ensaios por excitação por impulso de ultrassom foram determinados no modo de propagação longitudinal, seguindo a norma ASTM C1548-02 utilizando um equipamento Sonelastic® com suporte ajustável para barras e cilindros, modelo SA-BC, captador acústico CA-DP, pulsador automático IED e software Sonelastic para análise. Para a determinação de porosidade dos corpos de prova foi utilizado o método do princípio de Arquimedes de acordo com a Norma NBR 6220:2011.

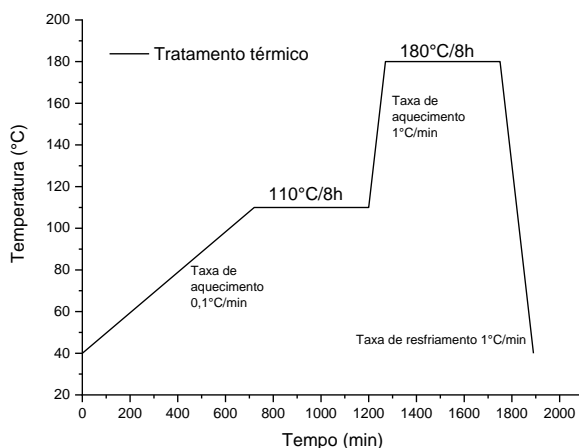


Figura 2 – Tratamento térmico dos materiais abrasivos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi possível a compactação a frio de todos os materiais abrasivos resinoides até o a carga de pressão de 130MPa. A Tabela II apresenta os resultados de módulos de elasticidade obtidos pela técnica de excitação por impulso a temperatura ambiente, a perda de massa de resina após tratamento térmico e a porosidade aparente para cada valor de carga de compactação dos materiais abrasivos resinoides estudados.

Tabela II – Módulos de elasticidade, perda de massa de resina após tratamento térmico e porosidade aparente dos materiais abrasivos resinoides obtidos por diferentes cargas de compactação.

Amostra	Módulo elasticidade (GPa)	Perda de massa após TT (%)	Densidade (g/cm³)	Porosidade após TT (%)	Porosidade Arquimedes (%)
10MPa	14,93	61,90	2,20	30,96	17,52
15MPa	17,97	56,36	2,24	29,45	16,38
20MPa	19,53	51,72	2,32	27,10	13,31
25MPa	19,71	53,33	2,37	25,52	12,38
30MPa	20,26	51,75	2,37	25,53	14,30
50MPa	26,48	48,18	2,56	19,37	8,98
70MPa	29,47	44,95	2,66	16,38	8,60
90MPa	29,90	42,59	2,73	14,26	8,50
110MPa	29,68	41,67	2,76	13,25	8,74
130MPa	32,25	40,38	2,83	10,92	1,95

As imagens da Figura 3 apresentam os gráficos dos resultados para cada valor de carga de compactação dos materiais abrasivos resinoides estudados nas seguintes descrições: (a) módulos de elasticidade obtidos pela técnica de excitação por impulso a temperatura ambiente; (b) perda de massa de resina após tratamento térmico e (c) porosidade aparente.

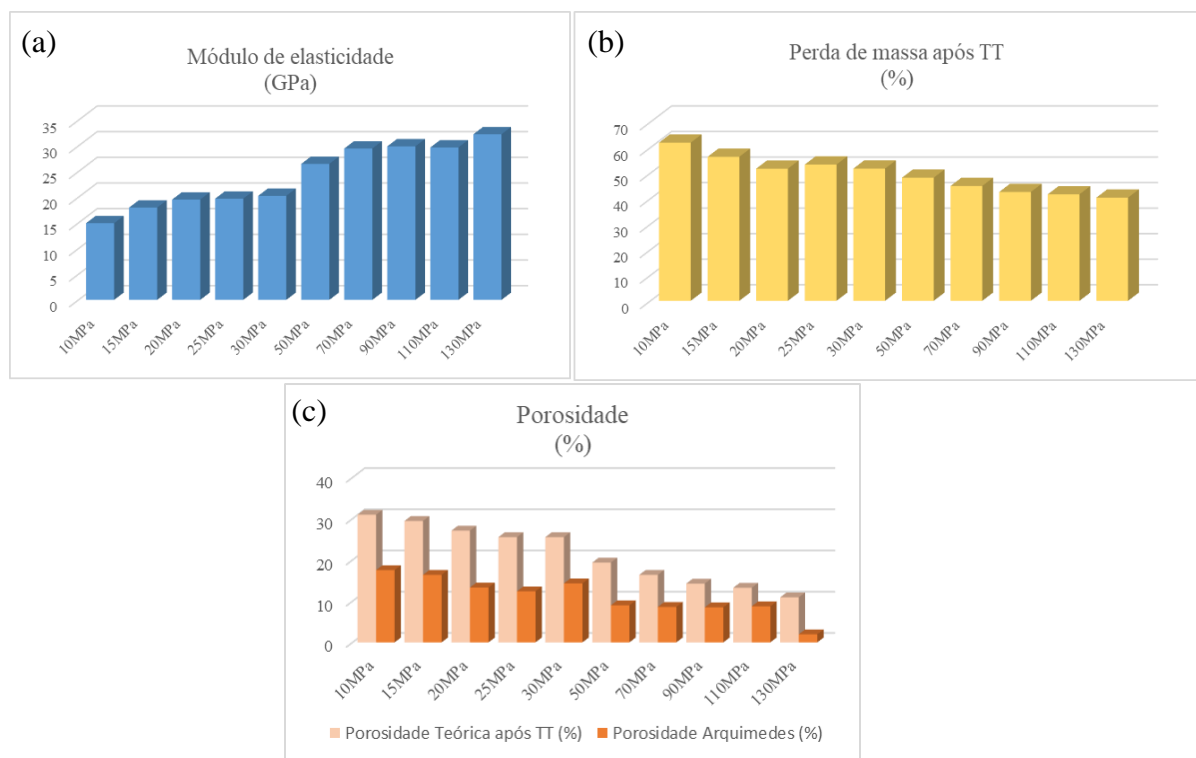


Figura 3 – Evolução dos resultados para cada valor de carga de compactação dos materiais abrasivos resinoides estudados (a) módulos de elasticidade obtidos pela técnica de excitação por impulso a temperatura ambiente; (b) perda de massa de resina após tratamento térmico e (c) porosidade aparente.

Foi observado que com o aumento da carga de compactação, os materiais apresentaram aumento de seu módulo de elasticidade (Figura 3a) e também maiores densidades (Tabela II). Isto indica estruturas mais fechadas, com menor quantidade de poros e provável aumento de dureza e rigidez [4, 6, 7]. Também foi observado que com o aumento da carga de compactação, a perda de massa (Figura 3b) no ligante durante o tratamento de cura foi reduzida, o que era esperado tendo em vista que os materiais se encontram com estruturas mais fechadas, o que dificulta a volatilização dos gases.

Os valores de porosidade determinados pelo método do princípio de Arquimedes apresentaram-se inferiores aos calculados após tratamento térmico. Isto deve estar associado ao fato dos materiais apresentarem poros fechados que não são possíveis determinar pela técnica. Outro fator que deve ser lavado em consideração é a volatilização de gases durante o processo de cura da resina fenólica levando à provável formação de novos poros no interior do material (abertos ou fechados).

CONCLUSÕES

Os materiais abrasivos resinoides apresentaram aumento no módulo elástico e provável aumento de rigidez com o aumento da carga de compactação, o que deve estar associado à influência de sua estrutura. O aumento da carga de compactação promoveu formação de estruturas mais fechadas, com diminuição do volume de poros diminuição de perda de massa durante o processo de tratamento térmico de cura. A formação de estruturas mais fechadas para a produção de rebolos abrasivos implicará numa ferramenta de maior rigidez, mas que o volume de poros deve ser levado em consideração para a escolha e aplicação adequada, pois também apresenta forte influência no desempenho e refrigeração.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPESP pelo Auxílio à Pesquisa (proc.2013/26633-0) e às doações de materiais concedidas pelas empresas ELFUSA Geral de Eletrofusão-Ltda e SI Group Crios Resinas S.A.

REFERÊNCIAS

- [1] S. Malkin, Grinding Technology: Theory and Applications of Machining With Abrasives. West Sussex: Ellios Horwood LTD (1989).
- [2] I. D. Marinescu, Tribology of abrasive machining processes, New York: Willian Andrew (2004).
- [3] F. Klocke, Manufacturing processes 2: Grinding, Honing, Lapping, Aachen: Springer-Verlag (2009).
- [4] A. Gardziella, Phenolic Resins: Chemistry, Applications, Stardardization, Safety and Ecology, New York: Springer-Verlag (2000).
- [5] S. L. Gibson, Cresol novolac/epoxy networks: Synthesis, properties and processability (2001) 249 f. Ph.D Dissertation – Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg.
- [6] S. V. Canevaloro Jr, Técnicas de caracterização de polímeros, São Paulo: Artliber (2007)
- [7] H. J. F. Diogenes, L. C. Cossolino, A. H. A Pereira, M. K. El Debs, A. L. C. El Debs, Determination of modulus of elasticity of concrete from the acoustic response, IBRACON Structures and Materials Journal, 2011, v.4, n.5, pp.792-813.