



REMOÇÃO TÉRMICA DA AREIA DE MACHO EM CILINDROS DE ALUMÍNIO FUNDIDOS POR GRAVIDADE¹

Cassius Steigleder²

Carlos Alberto Mendes Moraes³

Resumo

O macho de areia utilizado no processo de fundição por gravidade é responsável por definir a geometria interna do cilindro, após o processo de fundição essa areia deve ser removida da peça fundida. A colapsibilidade de peças fundidas por gravidade é um problema sério no ramo de fundição, onde quanto mais fino e complexo for o macho de areia, maior será a dificuldade de remoção da areia de macho da peça bruta de fusão. Foram feitas análises e estudos sobre as alternativas disponíveis no mercado para remover a areia interna do cilindro, vibração mecânica, jato de água por alta pressão, e jato de granalha. O presente estudo mostra que, em função de uma geometria interna diferente da peça fundida (paredes finas), a remoção da areia é dificultada pelos métodos convencionais. Portanto, foi utilizado o método da remoção térmica da areia, que consiste na elevação da temperatura desta, queimando a resina que se encontra em torno do grão, trazendo resultados mais promissores, facilitando a retirada da areia de dentro do cilindro através do processo posterior de jateamento de granalha. Desta forma, o trabalho evidencia que além da temperatura possuir grande influência na remoção da areia, o tempo de permanência é ainda mais importante do que pequenas variações de temperatura.

Palavras-chave: Fundição por gravidade; Macho em areia Shell; Resina fenólica; Remoção térmica da areia.

SAND CORE THERMAL REMOVAL FROM ALUMINUM CYLINDER FROM GRAVITY CASTING

Abstract

The sand core used in the gravity foundry process is responsible to define the internal geometry from the cylinder, that after the foundry process this sand has to be removed from the raw part. Foundry parts collapsibility is a serious problem in the foundry branch, when the sand core is thinner and more complex, more difficult will be to remove the sand from the raw part. There were made analysis and studies about the alternatives available in the market to remove the internal sand from the cylinder like, mechanical vibration, water high pressure, shot blasting. The present study shows that, considering a different internal geometry (thinner walls), the sand removal is harder by the conventional methods. Therefore, the thermal removal method was used for this case, which consists on increasing of temperature to burn the binder that involved the sand core grain, bringing promising results, making easier the removal of sand through a subsequent process of shot blasting. Thus, the work shows that besides the temperature has a great influence on the removal of sand, the burning time is even more important than small variations in temperature.

Keywords: Gravity foundry; Shell sand core; Phenolic resins; Sand core thermal removal.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Especialista Desenvolvimento Processo Cilindro da empresa Stihl Ferramentas Motorizadas Ltda., São Leopoldo/RS, e-mail: cassiussteigleder@gmail.com

³ Membro da ABM, Prof. Dr. - Engenharia Mecânica - Núcleo de Caracterização de Materiais - UnisinoS, e-mail: cmoraes@unisinos.br.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente na emissão de poluente de equipamentos de motores a combustão é crescente. Em função da nova legislação européia e americana de redução de poluentes, fez-se necessário desenvolver uma tecnologia de motores que pudesse enquadrar-se aos novos requisitos das leis. A alternativa tecnológica foi, para o caso de equipamentos portáteis como, por exemplo, motosserras, a alteração interna do motor de combustão, inserindo canais de transferência mais estreitos e mais longos, diferentes geometrias, possibilitando assim atingir uma melhor queima do combustível, reduzindo a quantidade de combustível não queimado enviado para o meio ambiente.

O impacto para o processo fabril foi adequar os processos às geometrias mais complexas, tolerâncias mais apertadas e processos de fabricação mais controlados para o cilindro. O cilindro é uma peça aletada na região externa, normalmente varia de 80 mm a 130 mm de altura, e a sua parte interna é responsável pela admissão do combustível, combustão, e exaustão dos gases, é nela que está montada a vela e onde desliza o pistão.

Havendo alterações na geometria das peças a serem fabricadas, basicamente nos canais de transferência de combustível, é necessário fazer uma avaliação do processo de fabricação. No processo de fundição por gravidade a parte interna do cilindro precisa ser definida por um macho em areia. A necessidade de ser um macho em areia é que ele define a parte interna durante a fundição do cilindro, por onde vai passar o combustível, os gases e onde ocorrerá a combustão. Portanto, é necessário retirar a areia da parte interna da peça fundida, pois a areia remanescente no cilindro pode bloquear ou dificultar a passagem de combustível, ou até mesmo, se houver grãos de areia na pista de deslize do cilindro, onde o pistão se movimenta, pode causar um engripamento, impossibilitando o seu funcionamento.

Devido ao alto risco funcional que a presença de areia no cilindro pode causar para a motosserra, é necessário estudar a maior eficiência possível do processo de remoção da areia de macho.

A dificuldade em remover a areia existe pela própria exigência de fabricação do macho de areia, que é feito pelo processo *shell molding*, onde é utilizada uma areia coberta com resina fenólica, cujo aquecimento desencadeia a cura parcial da resina, realizando a união entre os grãos de areia, tornando o macho de areia com resistência necessária para o manuseio e operação. O endurecimento é necessário para que a geometria definida no processo de fabricação seja mantida, e não ocorra danificação ou quebra no transporte, no manuseio, ou até mesmo na fundição da peça.

Segundo Moraes e Vilela,⁽¹⁾ são denominadas areias de fundição o material granular como areias a base de sílica, utilizada para o processo de moldagem de peças fundidas. Há dois tipos básicos de areia:

- areia verde: é composta basicamente de agente aglomerante (argila), água e aditivos (pós de carvão e mogul); e
- areia ligada quimicamente: contém na sua composição básica, substâncias que dão uma maior resistência ao molde ou macho produzido. Estas areias possuem ligante a base de resinas: orgânicas (resinas furânicas, fenólicas, uretânicas, etc); Inorgânicas (silicato de sódio, cimento portland) e Mistas (resinas fenólicas alcalinas). Nesta classificação está incluída a areia de macharia *shell molding*.

De acordo com a Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb),⁽²⁾ o índice de consumo de areia, dependendo do tipo de peça, varia de 800 kg a 1.000 kg para cada peça de 1.000 kg. Essa areia normalmente é extraída de jazidas de cava próximas ao litoral, sendo considerado um bem não renovável, cujo beneficiamento geralmente causa impactos ambientais. Para a fabricação de peças de grande porte, geralmente são utilizados moldes e machos, constituídos por areia misturada com resina e catalisador, dificultando a sua recuperação e reutilização, gerando assim grande quantidade de descarte aos aterros industriais e, conseqüentemente, onerando ainda mais o custo de produção.⁽³⁾

Segundo Silva e Chegatti,⁽⁴⁾ as areias de fundição representam um dos resíduos sólidos industriais com maior volume de produção. No Brasil, são descartadas aproximadamente 2 milhões de toneladas por ano, concentradas em duas regiões do país: Sul e Sudeste. Considerando que algumas destas areias, conforme consta na norma da ABNT NBR 10004⁽⁵⁾ são consideradas Classe I – Perigosa, é um grave problema ambiental para o país.

Gaspar *et al.*⁽⁶⁾ realizaram uma caracterização em areia usada de fundição quimicamente ligada após o processo de regeneração termomecânica, ou seja, removeram a resina existente na areia. A areia utilizada é proveniente do processo de moldagem em areia com resina fenólica alcalina. O trabalho mostrou que a remoção térmica tem se tornado fundamental para a total remoção de resina da areia ligada quimicamente.

Assim, a remoção térmica da areia seguido de um processo de jateamento de granalha é o processo a ser avaliado neste trabalho, avaliando suas vantagens, desvantagens e potenciais de otimização.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia de pesquisa foi realizada através do projeto experimental desenvolvido em uma empresa da indústria de equipamentos motorizados, a partir da análise térmica da areia, temperatura crítica do alumínio para não ocorrer modificações geométricas, medindo o tempo de elevação de temperatura do forno e da peça dentro do forno, conseguir definir os parâmetros necessários para realizar o processo térmico para queima da resina e eliminação da areia. Além deste, foi realizada a análise de boroscopia em lotes de cilindros testados para analisar a eficiência da retirada da areia. Para o processo posterior de jateamento de granalha dos canais internos, que tem o objetivo de retirar os grãos de areia levemente presos às paredes internas do cilindro, foi analisado o melhor fluxo de jateamento para direcionar a granalha e ter eficiência na retirada dos grãos internos.

Foram estudados processos de remoção da como ultrassom, vibração mecânica, jateamento de granalha inox, jato de água com alta pressão, realizando testes práticos com os processos, onde nenhum deles conseguiu atingir a eficiência na eliminação completa na retirada da areia.

Para a remoção térmica foi estabelecido conhecer o ponto de queima da resina, onde foram realizados ensaios termoanalíticos e termogravimétricos da areia virgem e após a solidificação, condição onde a areia deve ser removida do cilindro. Além das análises de caracterização térmica da areia, a areia foi analisada em função do percentual de queima relacionada à temperatura.

Dentro do processo de fracionamento (pirólise) por solicitação térmica existem limites de temperaturas e tempos que devem ser conhecidos, por exemplo, quando



a resina for colocada a uma temperatura acima de 300°C, inicia-se um processo de fracionamento que depende do tempo de solicitação térmica.

A fundição de alumínio tem limitações de trabalho em altas temperaturas, a liga de AlSi12CuNiMg tem o seu ponto de solubilização a 520°C, por isso esta informação é útil quando se quer realizar a queima da resina, necessitando de quantidade suficiente de oxigênio, como por exemplo, boa circulação de ar no forno.⁽⁷⁾

Berndt⁽⁷⁾ verificou a diferença no percentual de perda de resina e dos componentes cresol e vinsol. Torna-se muito interessante a comparação entre os dois métodos analisados, um deles realizando o aumento de temperatura de cinco graus Celsius por minuto verificando o percentual de queima da resina, e outro comparando o percentual de perda de peso da resina, porém deixando a areia com resina a cada quinze minutos a uma determinada temperatura. Esta comparação serve para analisar que não somente a temperatura influencia na queima da resina, mas também o tempo de permanência a uma determinada temperatura.

Para a realização do ensaio termoanalítico da areia é preparada uma amostra de no mínimo dez gramas, previamente peneirada utilizando grãos menores do que 0,15 mm. A amostra é colocada dentro de um forno que possui uma balança, onde a perda de massa pode ser medida simultaneamente ao aumento de temperatura.

A amostra é aquecida até 1000°C, com uma elevação de temperatura na ordem de 12,5°C por minuto. O objetivo da realização da análise térmica diferencial (DTA) é encontrar os picos que representam as temperaturas de transformação, e a termogravimetria (TG), que mede a perda de massa ao longo do ensaio, considerando o tempo e temperatura.

A análise termogravimétrica é usada para determinar mudanças na massa de uma amostra que pode resultar de uma transformação química ou física como função da temperatura ou tempo.

A TG é uma técnica que mede e registra automaticamente mudanças na massa como uma função da temperatura. A TG isotérmica mede as mudanças de massa como uma função do tempo em uma temperatura constante. Os dados obtidos dão informações a respeito da estabilidade térmica, composição e decomposição da amostra original.⁽⁸⁾

Para atingir os passos na curva termogravimétrica, a derivada termogravimétrica (DTG) é freqüentemente obtida pela taxa de mudança de massa com o tempo, dm/dt .⁽⁹⁾

A análise térmica diferencial (DTA) pode ser usada para detectar mudanças físicas e químicas que são acompanhadas por um ganho ou perda de calor num material quando sua temperatura é aumentada, diminuída ou isotermicamente mantida.

A DTA é uma técnica para estudos do comportamento térmico de materiais, os quais tendem a sofrer mudanças físicas e químicas durante tratamento térmico. Quando uma substância é aquecida, várias transformações físicas e químicas podem ocorrer envolvendo a absorção de calor (processo endotérmico) ou liberação de calor (processo exotérmico). A DTA mede a diferença de temperatura que acontece entre uma amostra e um material referência inerte quando ambos são aquecidos a uma taxa constante no mesmo ambiente obtendo-se picos endotérmicos e exotérmicos e as faixas de temperatura sobre as quais ocorrem.

3 RESULTADOS

Conforme Berndt,⁽⁷⁾ a resina começa a perder peso a partir da temperatura de 300 graus Celsius, com isso, torna-se necessário conhecer melhor a resina utilizada no processo de fundição.

O fluxograma da Figura 1 descreve os processos térmicos sofridos pela areia até o momento de remoção térmica.



Figura 1: Fluxograma 1: dos processos térmicos sofridos pela areia.

Com o objetivo de conhecer as características da areia a ser removida do cilindro, foram coletadas amostras da areia na etapa anterior à remoção da areia, para conhecer a influência do processo de fabricação do cilindro em relação à queima da resina, que ocorre durante o vazamento.

Conseguiu-se confirmar através das análises termogravimétricas, que a resina começa a perder massa significativa somente após a temperatura de aproximadamente 300°C. Isto significa que possui influência significativa no processo de fabricação do macho de areia, somente durante o vazamento de alumínio, onde estas temperaturas são ultrapassadas. Na prática, conseguiu-se verificar uma coloração muito escura da areia após o vazamento do cilindro, que representa parte da resina queimada.

A perda de massa total da areia virgem preparada para o processo *shell molding* foi de 2,70%, e a areia analisada após o vazamento foi de 1,98%. Comparando a perda de massa da areia virgem com a areia queimada, pode-se verificar que tem uma diferença de massa total de 0,72%, sendo esta parcela de resina queimada até o processo após o vazamento.

Em função das análises térmicas da areia, é possível admitir que a partir da temperatura de 300°C a resina inicia a sua cura. Porém, a temperatura máxima

permitida para o cilindro fundido em alumínio é de 520°C, definida como temperatura de solubilização para que as propriedades mecânicas obtidas durante o processo de solidificação na coquilha não sejam perdidas, pois após esta temperatura o cilindro pode sofrer deformações por estar muito próximo da mudança do estado sólido para líquido. Considerando a variação de temperatura do forno de solubilização que possui uma amplitude de aproximadamente 14°C, deve-se considerar então a temperatura de queima da resina como é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Cálculo da temperatura de queima da resina

Temperatura de Queima da Resina	
Temperatura objetivo	520 °C
Metade da amplitude do forno	7 °C
Margem de segurança	5 °C
Temperatura para queima	508 °C

O objetivo principal foi definir o tempo necessário a temperatura de 508°C para que a resina fenólica contida na areia precisa para ser queimada completamente (volatilizar). O parâmetro observado nos testes será a perda de massa total. Como caráter comparativo foi testada a areia retirada do cilindro após o vazamento.

Para determinar o tempo necessário de queima da resina foi colocada uma amostra no forno de análise de perda de massa. Foi utilizada uma taxa de aquecimento de 12,5°C/min, chegando até a temperatura de 508°C. Durante a elevação de temperatura foram medidas as perdas de massa que ocorrem com a amostra dentro do forno, identificando o percentual de queima da resina em função do tempo e da temperatura em que se encontra a amostra.

Na Figura 2 foi possível verificar que um maior percentual de resina começa a queimar a partir da temperatura de 300°C (indicação 1), conforme citação da literatura,⁽⁷⁾ porém a amostra continua a elevação de temperatura até a temperatura máxima que foi especificada para a liga atingir.

Análise da Queima da Areia - Areia Jundu Após Vazamento

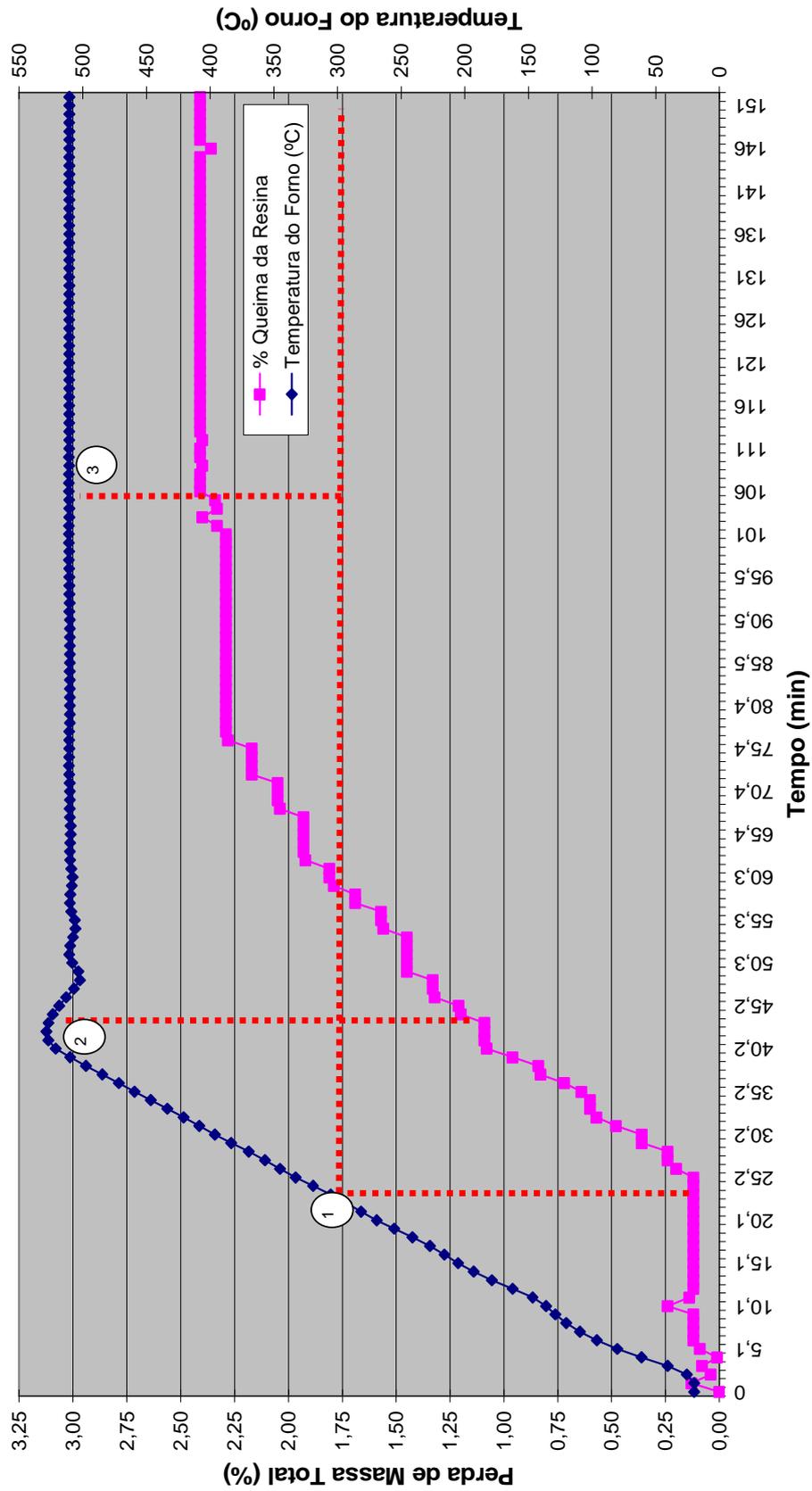


Figura 2: Análise da queima da areia jundu após vazamento do cilindro.

4 DISCUSSÃO

A temperatura de volatilização identificada na análise termogravimétrica indicou uma temperatura em torno de 565°C. Quando a resina chega a sua maior temperatura do teste (508°C), ainda não ocorre a queima completa da resina, porém mesmo estando abaixo da temperatura de volatilização indicada nas análises térmicas, a areia continua perdendo massa.

A perda total de massa ocorre em aproximadamente 106 minutos, onde a areia coberta virgem perdeu 3,05% e a areia após o vazamento no mesmo tempo perdeu 2,4%.

Podem-se realizar os seguintes cálculos para estabelecer o tempo adequado para queima da resina dentro do forno conforme Tabela 2.

Tabela 2: Determinação do tempo adequado para queima da resina

Tempo Adequado para Remoção da Massa Total da Areia (Queima da Resina)		
	Laboratório Tempo em minutos	Forno de Solubilização Tempo em minutos
Tempo de aquecimento a 508°C	40	120
Tempo para aquecimento do cilindro a 508°C	0	45
Tempo de permanência a 508°C	110	110
	150	275

Considerando a elevação de temperatura do forno, somados a inércia de aquecimento da peça, somados ao tempo necessário para queima da resina a 508°C, chegou-se ao tempo de 275 minutos para o processo de queima da resina dentro de um forno de solubilização.

5 CONCLUSÃO

Baseado nos dados apresentados no trabalho é possível verificar que os objetivos propostos foram totalmente atingidos, inclusive, através do estudo foi encontrado a melhor condição de tempo e temperatura para remoção da resina fenólica da areia, o que possibilitará a produção deste produto no melhor custo, já que está dentro das melhores condições de processo.

Apesar da temperatura de volatilização da resina estar acima da temperatura máxima permitida que o cilindro pode ser tratado, conseguiu-se encontrar uma temperatura e um tempo adequado para a remoção da areia. A queima da resina foi completa com temperatura mais baixa, garantido pelo maior tempo de permanência no forno de solubilização.

O processo pode ser assim estabelecido realizando o tratamento de solubilização a uma temperatura de 508°C, durante o tempo de 275 minutos no forno com boa circulação de ar, conforme as condições experimentais apresentadas neste trabalho.

Além dos ganhos do trabalho é possível considerar também os ganhos ambientais, sendo a resina da areia completamente queimada torna a areia pronta para ser usada para um próximo processo, não necessitando mais descarte especial. Este estudo e mais a avaliação ambiental e econômica serão desenvolvidas na continuidade da pesquisa.

Agradecimentos

Os autores agradecem a empresa Stihl Ferramentas Motorizadas e a Universidade do Vale dos Sinos por disponibilizar os recursos necessários para a realização dos ensaios.

REFERÊNCIAS

- 1 MORAES, Carlos A. M.; VILELA, Antônio C. F.. **Resíduos sólidos nas indústrias siderúrgicas e de fundição**. Apostila. Porto Alegre: UFRGS, 2001.
- 2 COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Redução do desgaste de areia de fundição e do consumo de areia nova na indústria de fundição**. São Paulo: CETESB, 2002.
- 3 SCHEUNEMANN, Ricardo. **Regeneração de areia de fundição através de tratamento químico via processo fenton**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. 71p.
- 4 SILVA, Tatiane Cristina da; CHEGATTI, Scirlene. Comparativo entre os regulamentos existentes para reutilização de resíduos de fundição. In. CONGRESSO DE FUNCIDÇÃO ABIFA, 13., 2007. São Paulo. **CD CONAF 2007**. São Paulo: CONAF, 2007.
- 5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos - Classificação: NBR 10004:2004**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- 6 GASPAR, R, C, *et al.*, Caracterização de Areia de Fundição via Tratamento de Regeneração Termo-Mecânico, **63º Congresso Anual da ABM**, pp. 3713-24, Julho/Agosto, 2008, São Paulo, Brasil.
- 7 BERNDT, H. *Processo Shell: Materiais e Tecnologia*. Série ABIFA, 1989. 240p.
- 8 SIBILIA. John P., *A guide to materials characterization and chemical analysis*. Morristown: VCH Publishers, 1988. 318 p.
- 9 HAINES. Peter J., *Thermal methods of analysis: principles, applications and problems*. Glasgow: Blackie academie & Professional, 1995. 286 p.