

6º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE REVESTIMENTOS TBC POR JATEAMENTO ABRASIVO

AUTORES:

Lucas Alan de Aguiar, Ramón S. Cortés Paredes, Émillyn Ferreira Trevisani, Gustavo Bavaresco Sucharski, André Ricardo Capra

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal do Paraná

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 6º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 09 a 13 de outubro de 2011, em Florianópolis-SC. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 6ºPDPETRO.

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE REVESTIMENTOS TBC POR JATEAMENTO ABRASIVO

Abstract

Components exposed to oxidizing conditions, hot corrosion and wear at elevated temperatures are commonly coated with TBC. An important step in the repair of TBC is the removal of the old coating. The complete removal of the coating is essential before the deposition of the new coating, it should not corrode or deform the substrate surface, but ensure minimal dimensional changes in the geometrical characteristics of the component. The removal of the ceramic coating is generally performed by grit blasting. However its application in the removal of Bond Coat is not widely used because of the difficulty in knowing when the coating was totally stripped. In this study it were tested the efficiencies of different abrasives, as well as the influence of the angle of 45 ° and 90 ° in the removal of the coating deposited through automated and manual deposition. The samples were analyzed visually and characterized via XRD and optical microscopy. The grit blasting appeared as an effective way for removing TBC being a quick and inexpensive process.

Introdução

Revestimentos de barreira térmica (TBC) são comumente usados para a proteção de superfícies contra oxidação e desgaste a quente. O Top Coat (revestimento cerâmico) proporciona isolamento térmico para ligas que operam em elevadas temperaturas e o Bond Coat (revestimento metálico) protege o substrato da oxidação. A vida útil de um componente depende de vários fatores. Quando há a necessidade de reparo, o componente reparado precisa ter uma integridade aceitável, de forma a atender os requisitos de sua aplicação. No caso de revestimentos, essa exigência impõe limites ao número de ciclos de reparos. Isto acontece porque cada vez que o antigo revestimento é retirado, há uma perda na espessura da parede devido à remoção da zona de difusão, a qual é cerca da metade da espessura do revestimento. (Bose, 2007). Para um componente, o reparo dos revestimentos geralmente é um dos muitos passos no processo de reparo em geral (Mattheij, 1985; Bettridge e Ubank, 1986; Siry et al, 2001). Antes da remoção do revestimento antigo, o componente precisa ser limpo para se livrar de todos os detritos depositados durante a exposição no ambiente operacional. Esta etapa é geralmente constituída por lavagem e jateamento abrasivo. A remoção completa do revestimento antigo é essencial antes da deposição do novo revestimento. Ela não deve causar corrosão ou tornar a superfície do substrato irregular mas sim garantir a mínima alteração dimensional nas características geométricas do componente (SCRIVANI et al., 2005).

Nos revestimentos TBC, a remoção do revestimento cerâmico, independentemente do processo, é geralmente determinada por inspeção visual, podendo ser facilitada pelo uso de uma lente de aumento. O jateamento abrasivo é um processo barato para remoção dos revestimentos cerâmicos, especialmente dos revestimentos de zircônia estabilizada com ítria (YSZ) (Anguelo e Anguelo, 1991). A YSZ comumente apresenta uma coloração esbranquiçada, enquanto o Bond Coat apresenta uma coloração cinza. Por essa diferença nas cores do revestimento cerâmico e do Bond Coat, não há grandes dificuldades em verificar visualmente quando o revestimento é removido. Geralmente, o óxido de alumínio é o abrasivo usado com jateamento de ar comprimido, normalmente utilizando um abrasivo de maior granulometria. O processo é normalmente manual, mas pode ser automatizado, e realizado em cabines de jateamento. A remoção do revestimento metálico apresenta maiores dificuldades do que a do revestimento cerâmico. Os revestimentos Bond Coat e o metal de base possuem uma coloração cinza metálica, o que dificulta distinguir o revestimento a ser removido do metal de base. Como resultado, o jateamento abrasivo pode resultar numa remoção irregular do material e numa diminuição da espessura do material (HAYES et al., 2009). Por essa razão existe a necessidade de aplicar o jateamento abrasivo por tempos não muito longos. Se o intervalo de tempo

for muito grande, o abrasivo pode além de remover o revestimento, alterar significativamente a geometria da peça. Em intervalos mais curtos, pode-se retirar a peça e verificar visualmente na superfície se o revestimento está sendo removido, pois normalmente nesse tempo o revestimento foi apenas parcialmente removido.

As técnicas mais recentes para o processo de remoção por jateamento abrasivo geralmente consistem na utilização de grãos grosseiros, como óxido de alumínio de granulometria 20 e 36 mesh, responsáveis por romper o revestimento e separá-lo do metal de base e grão mais finos (entre 60 e 120 mesh), responsáveis por limpar a superfície dos resíduos, partindo dos abrasivos mais grosseiros para os mais finos. (NAGARAJ et al., 2003 e HAYES et al., 2009). A automatização do processo pode ser feita, porém isto não garante uma melhor taxa de remoção uma vez que a inspeção visual é que dita o fim do procedimento. Anguelo e Anguelo (1991) observam que melhores taxas de remoção são obtidas para o jateamento abrasivo com óxido de alumínio à pressão de 60 psi. Contudo para revestimentos muito finos (menores que 100 microns) devem ser utilizadas pressões inferiores a 40 psi e o tempo de exposição ao abrasivo não pode ultrapassar 120 segundos (BROOKS et al., 2007). Tempos muito longos de jateamento podem causar deformações no metal de base. A literatura ressalta que utilizando abrasivo de óxido de alumínio as pressões de jateamento devem estar abaixo de 100 psi, com um tempo de exposição entre 30 segundos e 3 minutos (MACDONALD et al., 2005).

Metodologia

Neste trabalho foram analisadas a remoção de revestimentos TBC. Os Bond Coat utilizados foram depositados pelos processos HVOF (High Velocity Oxi-Fuel) e Plasma Spray (APS), conforme apresentados na tabela 1. Os revestimentos cerâmicos foram depositados pelo processo Plasma APS. O equipamento utilizado para a deposição HVOF foi um equipamento Sulzer Metco modelo Diamond Jet 2700, para a deposição Plasma APS utilizou-se um equipamento Sulzer Metco modelo 9MB Plasma Spray Gun. Os revestimentos foram depositados em corpos de prova de aço inox ABNT 304 com preparação do substrato através de jateamento abrasivo, realizado de acordo com a Norma Petrobras 2568.

Tabela 1. Ligas metálicas (bond coat) e cerâmicas utilizadas nas deposições por aspersão térmica.

Bond Coat - Processo	Composição	Cerâmicas - Processo	Composição
Sulzer Metco Amdry 365-2 - APS	Ni, Co, Cr, Al	Sulzer Metco 204 C NS - APS	ZrO ₂ 8Y ₂ O ₃
Praxair Ni-343 - HVOF	Ni, Cr, Al, Y	Praxair AI-1075 - APS	ZrO ₂ 7Y ₂ O ₃
Sulzer Metco Diamalloy 4008 NS – HVOF	Ni, Al	Praxair ZRO 236-1 - APS	ZrO ₂ 7Y ₂ O ₃ 1,7HfO ₂

A tabela 2 apresenta as amostras utilizadas, com seus respectivos Bond Coat. A retirada das amostras para a preparação metalográfica foi realizada em uma policorte automática marca Buehler modelo IsoMet 4000.

Tabela 2. Descrição dos corpos de prova utilizados no ensaio.

Amostra	Bond Coat	Cerâmica
2 B	Ni-343	204C-NS
4 B	Ni-343	204C-NS
5 B	Ni-343	204C-NS
6 B	Ni-343	204C-NS
9 B	Ni-343	204C-NS
10 B	4008 NS	AI-1075
11 B	4008 NS	AI-1075
12 B	4008 NS	AI-1075
16 B	A365-2	ZRO 236-1
18 B	A365-2	ZRO 236-1

Para o procedimento de remoção foi utilizada uma cabine de jateamento CVM que trabalha com até 100 psi de pressão (Figura 01). Os abrasivos utilizados foram de alumina em pó nas granulometrias 20, 36, 60 e 120 mesh.

Foram utilizados diferentes abrasivos, ângulo de jateamento e pressão. O procedimento utilizado foi realizado em três etapas em três etapas. Todo o processo foi realizado no Laboratório de Aspersão Térmica e Soldagens Especiais (LABATS) na Universidade Federal do Paraná. A etapa 1 consistia em verificar as propriedades de remoção dos abrasivos 36 e 60 mesh, que são abrasivos comumente usados nas etapas de jateamento que antecedem o processo de aspersão, verificando também a influência do ângulo na remoção. Esta etapa consistiu na utilização dos abrasivos de grana 36 e 60 mesh, com ângulos de deposição de 45° e 90°. Foram analisados os corpos de prova 2B, 4B, 11B e 12B. As escolhas destas amostras foram baseadas nos baixos níveis de porosidade e devido à boa aderência do revestimento ao substrato. As amostras foram presas a uma morsa a uma distância de 150 mm da pistola de jateamento. Na etapa 2 foram acrescentados os abrasivos 20 e 120 mesh. Por fim na etapa 3 foram utilizados apenas os abrasivos 20 e 120 mesh na remoção de revestimentos depositados de forma automática e manual. A cada 30 segundos os substratos foram retirados e inspecionados visualmente, com auxílio de uma lente de ampliação 10x.

Resultados e Discussão

As tabelas abaixo apresentam o tempo total que os substratos estiveram expostos ao jateamento abrasivo.

Tabela 3. Parâmetros para remoção de revestimento na etapa 1.

Amostras	Ângulo	Abrasivo 36- Tempo	Abrasivo 60-Tempo
2B	45	150s	120s
4B	90	120s	120s
11B	90	120s	120s
12B	45	180s	120s

Tabela 4. Parâmetros para remoção de revestimento na etapa 2.

Amostras	Ângulo	Abrasivo 20- Tempo	Abrasivo 36- Tempo	Abrasivo 60- Tempo	Abrasivo 120- Tempo
18B	90	120s	90s	30s	30s
10B	90	120s	90s	30s	30s
16B	45	120s	60s	30s	Não utilizado
9B	45	130s	60s	30s	Não utilizado
10b	90	90s	60s	Não utilizado	30s
7B	90	90s	60s	Não utilizado	30s

Tabela 5. Parâmetros para remoção de revestimento na etapa 3.

Amostras	Ângulo	Abrasivo 20- Tempo	Abrasivo 120-Tempo
5B	90	120s	30s
18 Manual	90	120s	30s
6B	45	180s	30s
10 Manual	45	180s	30s

Na etapa 1 avaliou-se a influência do ângulo na eficiência da remoção. Ao contrário do que relatam Monette e Drake (2000), a taxa de remoção nos substratos que faziam um ângulo de 45° com a pistola foram mais baixas. Após 30 segundos de jateamento o Top Coat já havia sido completamente removido (Fig. 1a). Após 120 segundos de jateamento com o abrasivo 36 mesh, os substratos 4B e 11B apresentavam uma superfície uniforme, enquanto nos substratos 2B e 12B era possível visualizar

na superfície apenas algumas lacunas onde o revestimento havia sido retirado (Fig. 1b). Por esse motivo os corpos de prova 2B e 12B foram novamente jateados com abrasivo 36 mesh. Sendo que após 30 segundos a amostra 2B apresentava uma superfície uniforme e o revestimento 12B depois de mais 60 segundos. Todo esse processo foi feito utilizando o mesmo abrasivo, o que segundo Anguelo e Anguelo (1991) é uma das vantagens do jateamento abrasivo. Os substratos foram então jateados com abrasivo grana 60 mesh por 120 segundos. Após o término do processo os abrasivos, 36 e 60, foram descartados. Nas figuras abaixo é possível perceber a coloração muito semelhante entre o metal de base e o Bond Coat, como descrito na literatura.

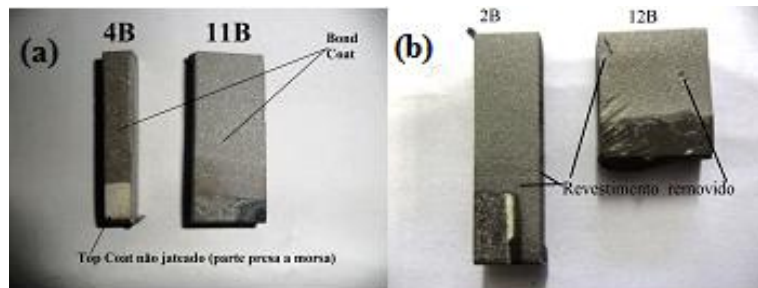


Figura 1. (a) Amostras 4B e 11B após 30 segundos de jateamento. (b) 2B e 12B jateados após 120 segundos com abrasivo 36 mesh.

A etapa 2 começou com todas as amostras sendo jateadas com o abrasivo grana 20. A taxa de remoção desse abrasivo foi maior que a do abrasivo 36. As superfícies sofreram também menores deformações, pois o tempo de exposição ao jato foi menor. Contudo o uso deste abrasivo foi limitado a 4 vezes sendo depois descartado por perder suas características. A figura 2(a) apresenta a amostra 10B após 60 segundos de jateamento com abrasivo 20 e após terminado o processo. Pode-se observar o Bond Coat parcialmente removido na figura 2(a) e superfície uniforme e com uma coloração única em B. A figura 2(b) mostra a vista lateral das amostras na qual é possível observar que ocorreu uma leve deformação



Figura 2. Amostras 10B após jateamento. (a) 60 segundos com abrasivo 20 mesh, (b) Após terminado o processo. (c) Redução de espessura no metal de base - vista lateral.

Verificou-se nessas etapas que o abrasivo 20 é capaz de remover todo o revestimento Bond Coat, não havendo a necessidade de utilizar-se o abrasivo 36. Para minimizar os efeitos de redução de espessura causados pelo abrasivo, a etapa 3 consistiu na aplicação apenas dos abrasivos 20 mesh (para a remoção do revestimento) e 120 mesh (para a limpeza dos detritos na superfície. A figura 4 apresenta a vista lateral dos revestimentos 5B, 6B e 18 manual. Nesta figura pode-se perceber que a perda de espessura foi menor que na etapa anterior. Basicamente a redução da espessura foi devida a remoção do revestimento e não a deformação do metal de base. Os revestimentos manuais apresentaram uma perda de espessura ligeiramente maior que os revestimentos automatizados. Estes revestimentos apresentaram uma superfície menos uniforme e com espessura variável, o que pode ter influenciado no jateamento e ser responsável pela maior perda de espessura.



Figura 4. Redução de espessura no metal de base-vista lateral.

Em todas as etapas, os tempos para a remoção de revestimento foram maiores para os jateamentos a 45° do que para 90°. Ademais o ângulo não facilitou a visão da peça, pois ao começar o jateamento a nuvem de abrasivo que se forma dentro da cabine impede a visualização da amostra, contrariando o previsto pela literatura.

Para verificar se houve a remoção do revestimento, as amostras foram submetidas a análise de DRX. A figura BB mostra a análise de fases para os revestimentos analisados na etapa 1. Para comparação, foi jateada uma superfície do aço inox 304, não revestida, e esta foi submetida à análise de DRX. Todos os padrões, exceto o da amostra 11B, apresentaram as mesmas fases presentes no aço inox AISI 304. Na amostra 11B (Fig. 5a) apareceu um pico da fase Ni_3Al , o que indica que o revestimento não foi totalmente removido. Essa fase está presente no Bond Coat dessa liga (Diamalloy 4008 NS) que contém aluminetos de níquel em sua composição.

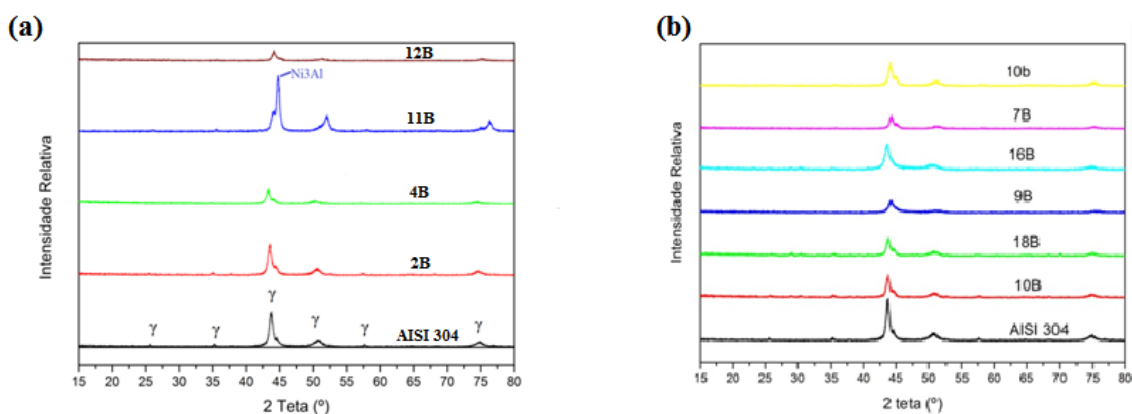


Figura 5. (a) Análise de fases presentes após a remoção dos revestimentos na etapa 1. (b) Análise de fases presentes após a remoção dos revestimentos na etapa 2.

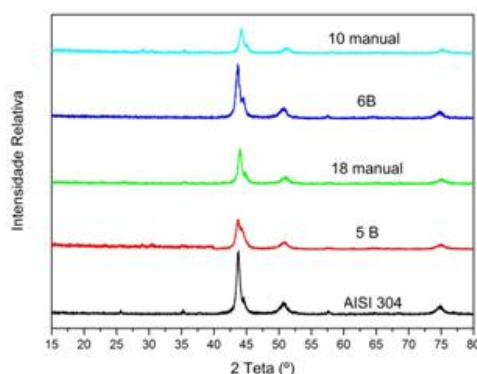


Figura 6. Análise de fases presentes após a remoção dos revestimentos na etapa 3

As figuras 5(b) e 6 também indicam que todos os padrões de DRX apresentaram as mesmas fases que o aço AISI 304 e só existe a fase austenítica presente. Foram realizadas também análises por microscopia ótica para verificar se havia resquícios de revestimentos nos substratos. Para isto escolheram-se as amostras 5B e 6B, as quais apresentaram a menor redução de espessura no metal de base e a amostra 2B que apresentou uma grande deformação na superfície. As figuras 7 e 8 apresentam microscopias da seção transversal das amostras 5B, 6B e 2B.

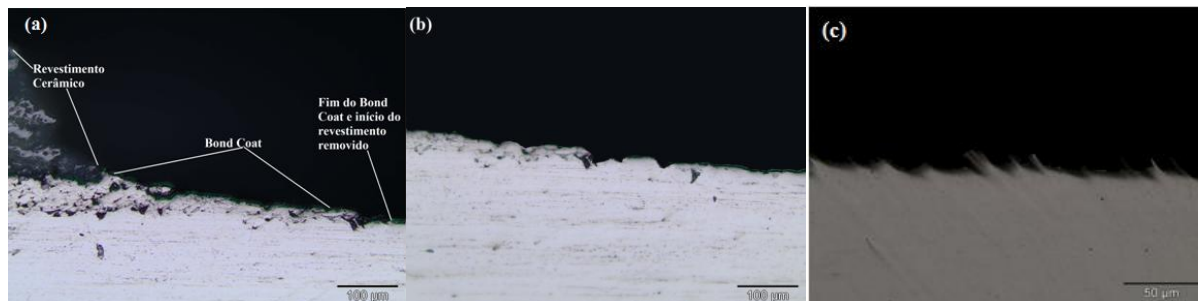


Figura 7. Análise da seção transversal por microscopia ótica da amostra 5B. (a) Interfaces- Ampliação de 20x. (b) Revestimento removido-Ampliação de 20x. (c) Morfologia da superfície- Ampliação 50x.

Na figura 7 (a) é possível visualizar o revestimento cerâmico, o Bond Coat e a superfície jateada. Em nenhuma das amostras foram encontradas vestígios do Bond Coat, o que é um indício da remoção completa dos revestimentos. As amostras 6B e 2B tampouco apresentaram resquícios do revestimento. Na figura 8(b) pode-se ainda notar a grande redução de espessura na amostra 2B, o que se deve a menor eficiência de remoção do abrasivo 36 mesh e ao consequente maior tempo de exposição ao jato abrasivo.

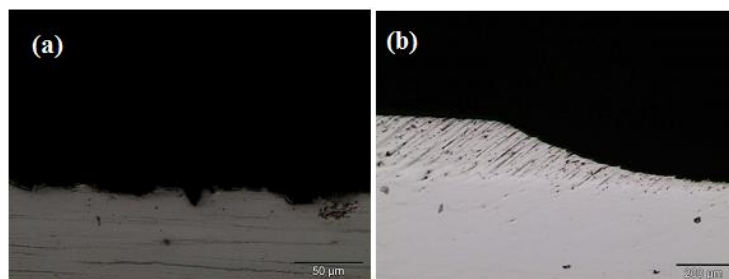


Figura 8. (a) Análise da seção transversal por microscopia ótica da amostra 6B- Ampliação de 50x. (b) Análise da seção transversal por microscopia ótica da amostra 2B, redução de espessura- Ampliação de 10x.

Conclusões

- O jateamento abrasivo é um meio eficaz para remover revestimentos cerâmicos, sendo um processo rápido e de baixo custo.
- O jateamento abrasivo permite também a remoção dos revestimentos tipo Bond Coat, porém como as cores do metal de base e do Bond Coat são similares, não é possível determinar visualmente se todo o revestimento foi removido, sendo necessário a utilização de uma lupa ou a aplicação de uma outra técnica de caracterização.
- O abrasivo de granulometria 20 mesh apresentou a melhor taxa de remoção, porém esse abrasivo se desgasta rapidamente, não sendo possível reutilizá-lo mais do que 4 vezes.

- O ângulo de 45°, ao contrário da literatura, não apresentou uma melhor taxa de remoção nem melhorou a visibilidade. Essas amostras tiveram um maior tempo de exposição ao abrasivo e apresentaram uma maior perda de espessura.
- As amostras jateadas apenas com abrasivo 20 e 120 mesh a 90°, apresentaram as menores perdas de espessura. As análises de microscopia ótica e difratometria de raio-x indicam que o revestimento foi totalmente removido.

Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa ao Laboratório de Aspersão Térmica e Soldagens Especiais (LABATS) da UFPR por possibilitar a deposição por aspersão térmica. Ao Laboratório de Óptica de Raios-X e Instrumentação (LORXI) da UFPR pelo uso do DRX. Ao LACTEC pelo auxílio fornecido e realização dos testes de tração. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior (CAPES-REUNI) e Programa de Recursos Humanos (PRH24) da Agência Nacional de Petróleo pelas bolsas cedidas que auxiliaram durante este trabalho. Aos programas de pós-graduação PG-MEC (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) e PIPE (Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais).

Referências Bibliográficas

BOSE, S. High Temperature Coatings. Oxford: BH, 2007.

SIRY, C. W.; WANZEK, H.; DAU, C.P. Aspects Of TBC Service Experience In Aeroengines. Mat.-wiss. u. Werkstofftech. 32, p. 650-653, 2001

ANGUELO, M., AND G. ANGUELO. Stripper Assembly For Combustion Chambers Of Turbine Or Jet Engines. U.S. Patent N°. 5,018,320, 1991.

BETTRIDGE, D. F.; UBANK, R. G. Quality Control Of High-Temperature Protective Coatings. Mater. Sci. Technol, 1986, 2, 232-242.

MATTHEIJ, J. H. G., Role Of Brazing In Repair Of Superalloy Components--Advantages And Limitations. Mater. Sci. Technol., 1985, 1, 608-612.

SCRIVANI, A.; RIZZI, G.; BARDI, U. Chemical Stripping Methods For The Removal Of Nicraly Thermal Spray Coatings. Kovové materiály . - Vol. 43, p. 382-387, 2005.

HAYES, R. H.; MILLER, M.O; THOMPSON, R. H. Remove Coatings From Turbine Components Without Damaging Them And Lower Your Costs. Power Engineering. p. 56-58, 2009.

NAGARAJ ET AL. Method For Applying Or Repairing Thermal Barrier Coatings. U.S, Patent N° 7094450, 2006.

MONETTE, D.; DRAKE, C. Coating Removal Technology Using Starch Based Abrasives, A Review Of Current Aerospace Application Using The Envirostrip Dry Stripping Process. Proceedings of The 4th Conference on Aerospace Materials, Processes, and Environmental Technology. 2001

BROOKS et al. Method For Removing Aluminide Coating From Metal Substrate And Turbine Engine Part So Treated. U.S, Patent N° 7008553, 2006.

MACDONALD et al. Method For Partially Stripping a Coating From The Surface Of A Substrate, And Related Articles And Composition. U.S. Patent N° 6,969,457