

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MURILO ARAUJO PARRA

**REFUSÃO DE REVESTIMENTO DA LIGA NiCrMoFeAl OBTIDOS POR
ASPERSÃO TÉRMICA POR CHAMAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2016

MURILO ARAUJO PARRA

**REFUSÃO DE REVESTIMENTO DA LIGA NiCrMoFeAl OBTIDOS POR
ASPERSÃO POR CHAMAS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica da Coordenação de Engenharia Mecânica – COEME – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Bellini
Medeiros

PATO BRANCO

2016

FOLHA DE APROVAÇÃO

Refusão de Revestimentos da Liga NiCrMoFeAl Obtidos por Aspersão Térmica por Chamas

Murilo Araujo Parra

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 01/12/2016 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

Prof. MsC. Silvana Patrícia Verona
(UTFPR)

Prof. Dr. Dalmarino Setti
(UTFPR)

Profa. Dr. Bruno Bellini Medeiros
(UTFPR)
Orientador

Prof. Dr. Bruno Bellini Medeiros
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho em especial a todos os familiares que me apoiaram para a conclusão desta etapa de minha vida. E em especial aos meus pais, que são o pilar fundamental por esta conquista.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de fazer os agradecimentos a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Primeiramente aos meu país, Claudemir Garcia Parra e Sidnéia Araujo Parra, sem o apoio incondicional deles nada seria possível.

A minha namorada Carla Camila Knebel, pela paciência, companheirismo e incentivo, fundamental durante esse período.

Aos estagiários Davi e Gabriel, dos laboratórios de H007 e H005 pelo apoio durante os ensaios.

Ao laboratorista Vitor dos laboratórios do departamento de Engenharia Mecânica da UTFPR de Pato Branco-PR.

À CENTRAL DE ANÁLISES – UTFPR Campus Pato Branco pelos ensaios de difração de raios-X.

Ao Professor Dr. Bruno Bellini Medeiros pela sua disposição e orientação para a conclusão deste trabalho.

À esta universidade e a todos os professores que contribuíram da melhor forma com seus conhecimentos para a minha formação.

E a todos outros acadêmicos e colegas de curso que convivi durante todos esses anos.

EPÍGRAFE

All our dreams can come true, if we have the courage to pursue them. Walt Disney

Todos nossos sonhos podem se tornar realidade, se tivermos a coragem de persegui-los. Walt Disney

RESUMO

PARRA, Murilo Araujo. Refusão de revestimento da liga NiAlFeCrMo obtidos por aspersão térmica por chamas. 2016. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

Este trabalho tem como objetivo obter informações do revestimento de $Ni_{76,5}Cr_9Mo_{5,5}Fe_5Al_4$ que após aspergida foi refundida por chama e pelo processo TIG. O processo de aspersão utilizado foi por chamas. A avaliação microestrutural foi realizada através de microscopia ótica (MO). Para identificação e quantificação das fases e óxidos presentes no revestimento foi realizado o ensaio de difração de raios – X. Os ensaios de adesão, dobramento e microdureza Vickers indicaram que a realização dos pós-tratamentos efetuados neste estudo aumenta a dureza e a adesão do revestimento ao substrato.

Palavras-chave: Aspersão térmica. Refusão por chamas. Refusão por TIG.

ABSTRACT

PARRA, Murilo Araujo. Remelting of coating NiAlFeCrMo alloy obtained by flame spray. 2016. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2016.

This work has as main objective the get information of coatings from $Ni_{76,5}Cr_9Mo_{5,5}Fe_5Al_4$, which after sprayed was recast by flame and by the TIG process. The thermal spray process used was flame spray. The evaluation microstructural it was made through optical microscopy (OM). The X-ray diffraction test was performed to identify and quantify the phases and oxides present in the coating. The test of adhesion, flexure, and microhardness Vickers indicated that the execution of the after-treatments performed in this study increases the hardness and adhesion of the coating to the substrate.

Keywords: Thermal Spray. Flame remelting. TIG remelting

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Desenho esquemático do processo de aspersão térmica.....	13
Figura 2 – Classificação dos processos de aspersão térmica.....	14
Figura 3 – Seção Transversal da tocha de aspersão por chama de pó	16
Figura 4 – Seção transversal da tocha de aspersão por chama de arame	17
Figura 5 – Seção transversal da tocha de HVOF.....	17
Figura 6 – Configuração correta da chama.....	22
Figura 7 – Movimento e camadas que constituem um passe na aspersão térmica	23
Figura 8 – Máquina de ensaio universal utilizado para o ensaio de adesão com o dispositivo construído para o ensaio, com corpos de prova após a ruptura.....	24
Figura 9 – Tipos de fraturas resultantes do ensaio de tração.....	25
Figura 10 – Máquina de ensaio universal utilizado para o ensaio de dobramento ...	26
Figura 11 – Condição e Aparência da superfície dos ensaios de dobramento	26
Figura 12 – Equipamentos para execução da microscopia ótica Cortadora metalográfica e prensas de embutimento.....	27
Figura 13 – Microscópio óptico Meiji, utilizado para análise microestrutural	28
Figura 14 – Microdurômetro Time modelo TH – 710, utilizado para a medição da microdureza Vickers	29
Figura 15 – Difratoograma de raios-X do revestimento da liga NiCrAlMoFe em substrato de aço 1020	31
Figura 16 – Difratoograma de raios-X do revestimento da liga NiCrAlMoFe em substrato de aço 1020 com refusão por chama	32
Figura 17 – Difratoograma de raios-X do revestimento da liga NiCrAlMoFe em substrato de aço 1020 com refusão por TIG	33
Figura 18 – Micrografias da condição 1 após aspersão térmica	34
Figura 19 – Micrografias da condição 2 após aspersão térmica e pós-tratamento ...	34
Figura 20 – Micrografias da condição 3 após aspersão térmica e pós-tratamento ...	35
Figura 21 - Exemplo de impressões de microdureza do substrato até o revestimento aumentado 400x	36
Figura 22 – Média dos valores da microdureza Vickers na camada do revestimento	36
Figura 23 – Valores de Microdureza ao longo do substrato até o revestimento nas três condições.....	37

Figura 24 – Média dos valores da microdureza Vickers em regiões sem defeito.....	38
Figura 25 – Média dos valores da microdureza Vickers em regiões com ou sem defeitos	39
Figura 26 - Amostras após o ensaio de aderência	41
Figura 27 - Amostra M06, M08 e M13 após o ensaio de dobramento	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparação de alguns processos de aspersão chama.....	18
Tabela 2 – Composição química da liga solocoat-840 (% em peso)	21
Tabela 3 – Dados técnicos da liga Solocoat-840	21
Tabela 4 – Composição química do Bond Coat Ultra Bond 25000	21
Tabela 5 – Processos utilizados nos corpos de prova	30
Tabela 6 – Valores da microdureza Vickers do substrato até o revestimento	36
Tabela 7 – Valores das durezas na camada do revestimento (seção transversal) ...	37
Tabela 8 – Valores da microdureza Vickers em regiões sem defeitos ao longo do revestimento	38
Tabela 9 – Valores da microdureza Vickers em regiões com defeitos ou sem defeitos ao longo do revestimento	38
Tabela 10 – Resultados do ensaio de aderência	40

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Objetivos gerais.....	12
1.1.2 Objetivos específicos.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 ASPERSÃO TÉRMICA.....	13
2.1.1 Aspersão térmica por chama convencional.....	14
2.1.2 Aspersão térmica por chama com pó.....	15
2.1.3 Aspersão térmica por arame consumível	16
2.1.4 Oxicombustível de alta velocidade	17
2.2 COMPARAÇÃO DOS PROCESSOS	18
2.3 TRATAMENTOS TÉRMICOS PÓS ASPERSÃO TÉRMICA	18
2.4 CAMADA DE LIGAÇÃO (BOND COAT).....	19
3 MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 MATERIAIS	21
3.2 PREPARAÇÃO DO SUBSTRATO	21
3.3 PROCESSO DE ASPERSÃO	22
3.4 PROCESSO DE REFUSAO.....	23
3.5 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX)	23
3.6 ENSAIO DE TRAÇÃO (ADESÃO/COESÃO)	24
3.7 ENSAIO DE DOBRAMENTO	25
3.8 MICROSCOPIA ÓTICA (MO).....	27
3.9 MICRODUREZA VICKERS	28
3.10 PROCESSOS UTILIZADOS NOS CORPOS DE PROVA	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX)	30

4.2 MICROSCOPIA ÓTICA (MO).....	33
4.3 MICRODUREZA VICKERS	35
4.3.1 Análise 1.....	35
4.3.2 Análise 2.....	37
4.3.3 Análise 3.....	38
4.4 ENSAIO DE TRAÇÃO (ADESÃO/COESÃO)	40
4.5 ENSAIO DE DOBRAMENTO	41
5 CONCLUSÕES	43
REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

Aspersão por chama serve para revestir um substrato com material em pó ou na forma de arame. Aspersão térmica por chama é uma técnica amplamente aplicada não apenas por ser uma das opções mais baratas, mas também pode ser aplicada em uma grande variedade de materiais. Essa técnica consiste em aquecer um pó com o calor da chama até um estado fundido que é acelerado até um substrato que será revestido.

Entre os materiais aspergidos, as ligas à base de níquel estão sendo amplamente utilizadas por apresentarem boa resistência ao desgaste, a oxidação e corrosão a alta temperatura, e serem de baixo custo. FERNÁNDEZ (2005, apud GONZÁLEZ et. al., 2007)

Ligas de níquel podem ser usadas em componentes mecânicos, como rolos de mesas de refrigeração em laminação de tiras a quente, buchas de bombas e placas de desgaste. (FERNÁNDEZ et. al., 2006).

O processo de aspersão por chama tem algumas desvantagens consideráveis, como alta taxa de porosidade (10-20%) e fraca aderência ao substrato (adesão mecânica). Utilizando a refusão consegue-se reduzir consideravelmente a porosidade das camadas do revestimento, cria uma ligação metalúrgica com o material do substrato e aumenta-se a coesão entre as partículas do revestimento. RODRÍGUEZ et. al.; KIM et. al. (2003;2003, apud GONZÁLEZ et. al., 2007).

Há uma vasta quantidade de métodos para refundir as camadas aspergidas por chama, como refusão por indução, fusão por forno, fusão por chama, entre outros. A refusão por chama é o mais comumente utilizado, por ser mais versátil e mais econômico. (GONZÁLEZ et. al., 2006)

Quase todos os materiais podem passar pelo tratamento de refusão, no entanto é aplicado normalmente quando se deseja aumentar a resistência superficial do revestimento, aumentando a dureza, resistência ao desgaste e resistência a corrosão (YAN; ZHU, 1997).

Dentre as ligas a base de níquel é relatada a liga Solocoat-840 do fabricante Wall Colmonoy, que segundo o fabricante é utilizado nas seguintes aplicações:

- Indústria automobilística e aeronáutica – biela de motores, top deck;
- Marítima – cabos de tambores e rodas livres submersas;
- Indústrias diversificadas – rolos distribuidores de tinta para impressão;
- Indústrias química e petrolífera – cilindros compressores e pás de bombas;
- Indústrias de Plástico e Borracha – eixos de dispositivos Airlock.

A liga tem proposta geral de uso para revestimento do tipo inoxidável com boa resistência ao desgaste e à corrosão em altas temperaturas. Excelente para atrito deslizante de metal com metal além de fazer boa combinação com aços de baixo carbono, aços baixa liga e aços inoxidáveis que possam ser usinados. Porém não existe literatura técnico-científica adicional além das informações fornecidas pelo fabricante.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos gerais

Este trabalho tem como objetivo caracterizar e levantar mais informações sobre revestimentos obtidos a partir da liga comercial a base de níquel Solocoat-840 ($\text{Ni}_{76,5}\text{Cr}_9\text{Mo}_{5,5}\text{Fe}_5\text{Al}_4$).

1.1.2 Objetivos específicos

Obter informações a respeito do revestimento de $\text{Ni}_{76,5}\text{Cr}_9\text{Mo}_{5,5}\text{Fe}_5\text{Al}_4$ após o processo de refusão, no que se refere a análise microestrutural do revestimento e a resistência mecânica em termos de adesão e dureza.

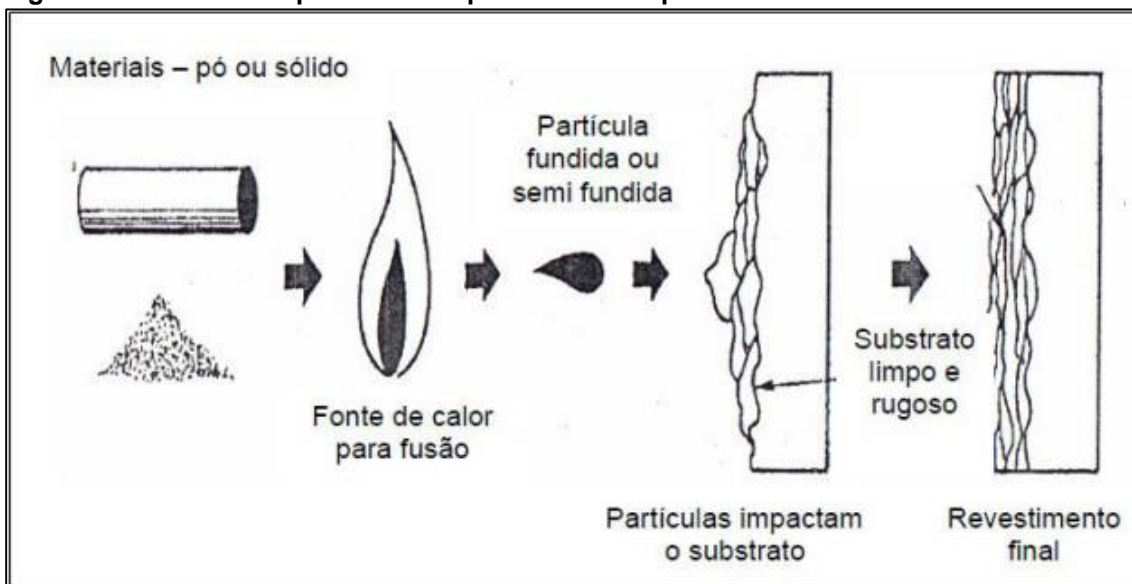
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPERSÃO TÉRMICA

Simplificando o conceito de aspersão térmica, consiste em um grupo de processos pelos quais se deposita, sobre uma superfície previamente preparada, camadas de materiais metálicos ou não metálicos. (PAREDES, 2012)

Para os processos de aspersão térmica, os materiais depositados são levados a um estado fundido ou semifundido através de uma fonte de calor gerado no bico de uma pistola adequada para o processo. E logo após a fusão, o material é acelerado por gases sob pressão contra o substrato que será revestido. Na colisão contra a superfície as partículas aderem ao material de base e na sequência sobre as partículas já depositadas formando camadas. E estas camadas são constituídas por pequenas partículas deformadas na forma de panquecas em direção paralela ao substrato formando lamelas. AWS (1985, apud MARQUES, 2012). A figura 1 abaixo mostra esquematicamente o processo descrito acima.

Figura 1 – Desenho esquemático do processo de aspersão térmica

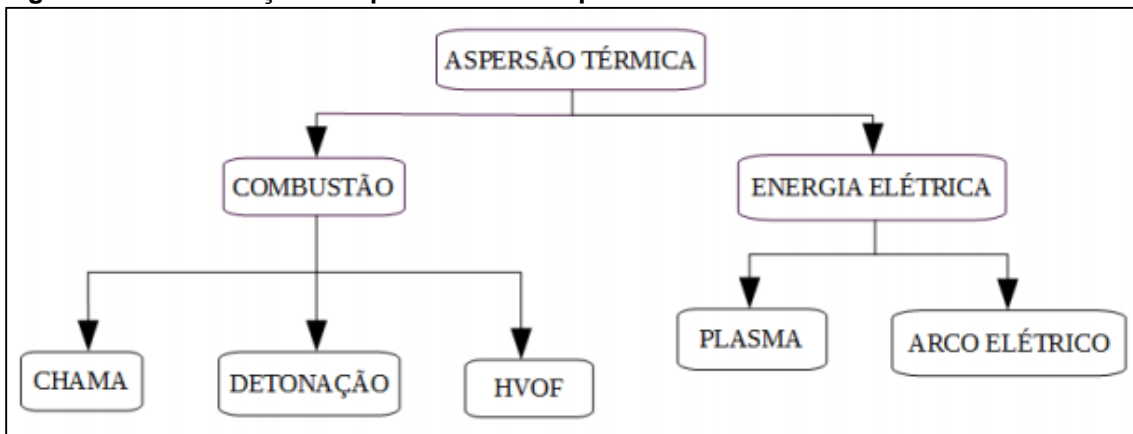


Fonte: Adaptado ALENCAR (2009).

A classificação dos processos de aspersão térmica divide-se em dois grupos, um grupo que usa chama como forma de energia e outro que utiliza a

energia elétrica, como mostrado na figura 2 e dentre entre esses dois existem várias outras subdivisões que não serão tratadas nesse trabalho. Este trabalho terá enfoque principal apenas no grupo que utiliza chama como forma de energia, especificamente na aspersão térmica por pó.

Figura 2 – Classificação dos processos de aspersão térmica



Fonte: Adaptado BRITO (2010).

2.1.1 Aspersão térmica por chama convencional

O processo de aspersão térmica por chama convencional usa a energia fornecida através da combustão de um gás combustível para aquecer e fundir o material que irá compor o revestimento. Os consumíveis usados são na forma de pó, arames e vareta. Quando se utiliza pó como material para revestimento o processo é chamado de aspersão de pós por chama (Flame Powder Spray) e quando se utiliza na forma de arame o processo é chamado de aspersão térmica por chama usando arame (Wire Flame Spray). (LIMA, 2007)

Qualquer substância que funda e não sublima a temperaturas inferiores a 2760 °C pode ser submetida ao processo de aspersão térmica por chama. (MARQUES, 2003)

A relação entre oxigênio e combustível de 1:1 gera uma atmosfera carburante e 1,1:1 gera uma atmosfera oxidante. A velocidade do processo varia entre 80 a 100 m/s e a temperatura entre 2700 a 3100 °C. As tochas de aspersão em sua maioria são adaptadas para usar diferentes gases, fazendo com que possa

ser otimizado o custo e a qualidade do revestimento, mas o gás mais utilizado é o acetileno, por permitir maiores temperaturas de chamas. (LIMA, 2007)

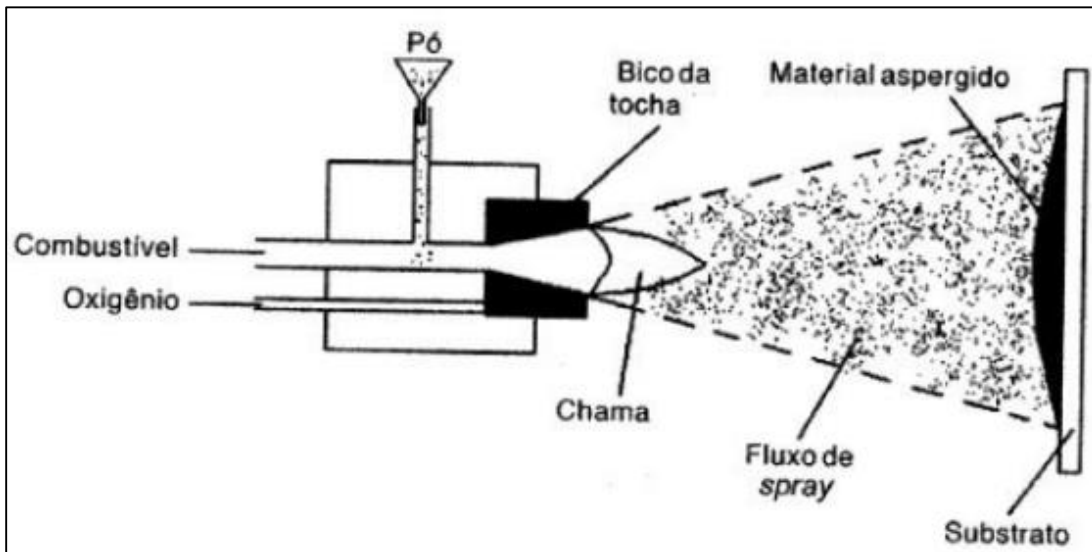
2.1.2 Aspersão térmica por chama com pó

O material em pó é alimentado para a tocha vindo de um reservatório, que pode ser montado ou separado da tocha. O pó é levado para a chama por um sistema de alimentação a ar, pelo fluxo de oxigênio ou por gravidade. Nas tochas mais antigas a injeção de pó é realizada por gravidade, vertical ao eixo da tocha, nas mais atuais a injeção é axial ao eixo da tocha. O pó é fundido pela chama e expelido em direção ao substrato pelo jato de ar ou pelo gás de combustão. A taxa de alimentação do pó vai de 50 a 100 g/min e a taxa de fluxo de gás de transporte de 3 a 5 l/min. (LIMA, 2007)

Materiais a serem aspergidos podem ser metais puros, ligas metálicas, compósitos, carbonetos, materiais cerâmicos ou combinações destes. O processo é usualmente utilizado para aplicações de ligas metálicas autofluxantes, que devem ser fundidas após a aspersão. Estes materiais contêm boro e silício que servem como agentes fluxantes reduzindo a oxidação. A fusão e ligação metalúrgica a um substrato metálico ocorre aquecendo o revestimento até sua temperatura de fusão, geralmente é inferior a 1040 °C que pode ser feita por variadas fontes de calor, como bobina de indução, forno ou chama. (MARQUES, 2003).

A figura 3 mostra um esquema da seção transversal da tocha de aspersão por chama alimentado por pó.

Figura 3 – Secção Transversal da tocha de aspersão por chama de pó



Fonte: Adaptado LIMA (2007).

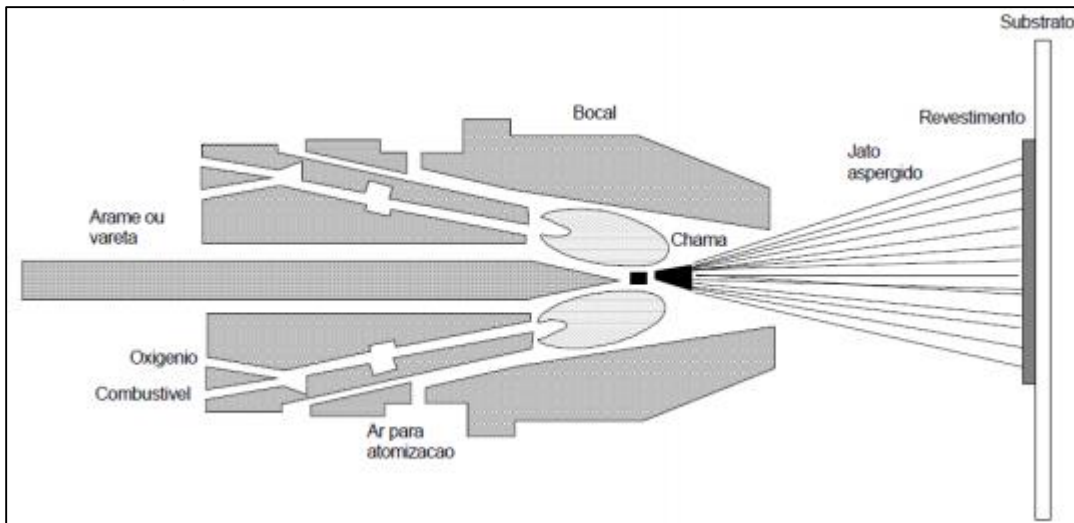
Variações do processo de aspersão térmica de pó incluem: gás comprimido para alimentar o pó na chama, jatos adicionais de ar comprimido para acelerar as partículas fundidas. Essas variações nos processos tendem a aumentar a taxa de alimentação de pó, a velocidade das partículas fundidas, que resultam em um aumento na resistência adesiva e na densidade do revestimento aspergido. (MARQUES, 2003)

2.1.3 Aspersão térmica por arame consumível

Na tocha para arames, o material é inserido pela parte posterior por roletes de alimentação, que podem ser tracionados por um motor elétrico ou pneumático ou por uma turbina a ar. O material é alimentado por um bocal onde é fundido por um gás combustível. A chama é usada apenas para fundir o material, para pulveriza e acelerar as partículas em direção do substrato é usado em geral ar comprimido. (MARQUES, 2003)

A representação da seção transversal da tocha de aspersão por chama de arame consumível está na figura 4.

Figura 4 – Seção transversal da tocha de aspersão por chama de arame consumível

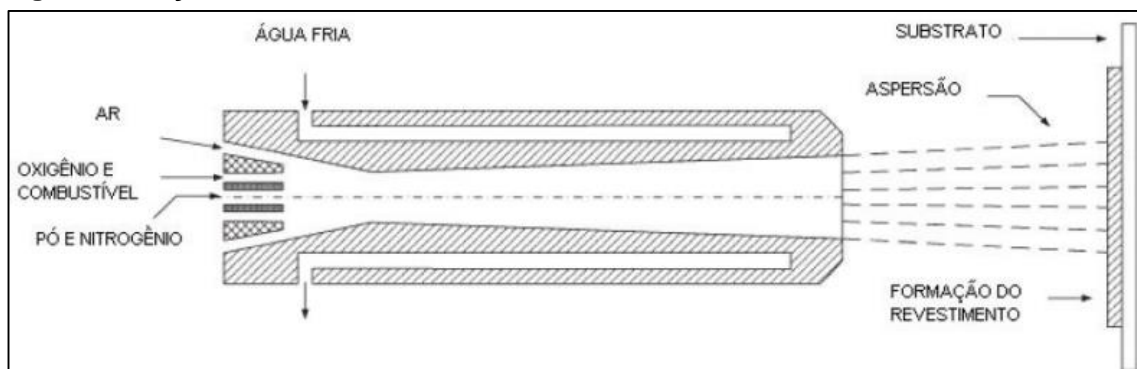


Fonte: Adaptado MARQUES (2003).

2.1.4 Oxicombustível de alta velocidade

No processo de aspersão oxicombustível de alta velocidade, conhecido como HVOF (high velocity oxygen fuel), o gás combustível é queimado com oxigênio a alta pressão, ocasionando um jato de exaustão de alta velocidade. Usualmente podem ser utilizados gás propano, propileno, metil-acetileno-propadieno ou hidrogênio como combustível. O combustível e o oxigênio são queimados na câmara de combustão e são liberados por um bocal, onde atingem velocidades supersônicas. O pó é introduzido no bocal axialmente, na maioria das tochas, onde é aquecido e acelerado para fora do bocal. Tanto o bocal quanto a câmara de combustão são resfriados através de água. (LIMA, 2007)

Figura 5 – Seção transversal da tocha de HVOF.



Fonte: Adaptado (LI, 2005)

O processo chega a temperaturas de 2500 a 3100 °C e resulta em revestimentos extremamente densos e bem aderentes, atraentes para muitas aplicações. (PAWLOWSKI, 2008)

O processo utiliza pós com tamanhos de 5 a 45 μm e com taxa de alimentação entre 20 a 80 g/min. O nitrogênio é usado como gás de arraste. A distância de aspersão é de 120 a 300 mm do substrato. O processo tem o fluxo de oxigênio bem maior chegando até 430 l/min, sendo um dos processos com maior nível de ruído, com valores maiores de 140 dB. (LIMA, 2007)

2.2 COMPARAÇÃO DOS PROCESSOS

Na tabela 1, são apresentados alguns parâmetros de vários processos de aspersão térmica. O processo que será utilizado nesse trabalho é chama por pó que apresenta uma energia utilizada pelo sistema de 11 a 22 kW/kg.

Tabela 1- Comparação de alguns processos de aspersão chama.

Processos	Temp. de chama °C	Velocidade da partícula m/s	Força de aderência	Taxa de aspersão máxima kg/h	Custo relativo do processo	Energia utilizada kW/kg
Chama por pó	2200	30	Baixa	7	3	11-22
Chama por arame	2800	180	Média	9	3	11-22
HVOF	3100	610-1060	Muito alta	14	5	22-200

Fonte: Adaptado de Handbook of Thermal Spray Technology (2004).

2.3 TRATAMENTOS TÉRMICOS PÓS ASPERSÃO TÉRMICA

O processo de aspersão térmica por chamas convencional tem como umas das principais características o alto teor de porosidade e uma alternativa para reduzi-la é um tratamento térmico posterior a aspersão. A solução de usar a fusão posterior à aspersão é muito utilizada na prática. O processo de chama e fusão possui duas variantes: aspersão com fusão, e aspersão fusão. No primeiro caso, a fusão é feita

após a deposição do revestimento, usando chama, tocha, indução ou dentro de fornos. No segundo caso a fusão é feita simultaneamente com a deposição. O uso da técnica aspersão e fusão são limitados para materiais cujo substrato possa tolerar temperaturas de fusão entre 1010 e 1175 °C. A temperatura de fusão pode alterar as propriedades de tratamento térmico de algumas ligas. ASM (1992, apud ALENCAR, 2009)

A partir da refusão, é possível reorganizar a estrutura de revestimentos aspergidos gerando uma microestrutura mais homogênea (IWASZKO, 2006). A proposta do processo de refusão é a redução de fatores indesejados presentes no revestimento, como poros, óxidos e partículas não fundidas (WEN et al., 2015).

O pós-tratamento de fusão em revestimentos autofluxantes, densifica o revestimento eliminando grande parte dos poros. Assim surgem alguns pontos que requerem cuidados na fusão com o controle da temperatura de fusão, para evitar trincas ou degradação do revestimento, tornando o revestimento frágil, e a contração do material durante a solidificação em torno de 20%, onde caso haja necessidade de controle dimensional deve-se prever espessura adicional. (PAREDES, 2012)

Segundo a ASM (2004) revestimentos fundidos apresentam as seguintes propriedades:

- Substratos quase 100% densos, impermeáveis, e ligados metalurgicamente;
- Dureza elevada variando entre 20 e 70 HRC (dependendo o teor de boro e carbono);
- Boa resistência ao impacto, atribuído a excepcional integridade do revestimento e ligação metalúrgica;
- Boa resistência à corrosão e alta dureza a quente, permitindo temperaturas de serviço até 650 ° C.

2.4 CAMADA DE LIGAÇÃO (BOND COAT)

A finalidade camada de ligação é servir como revestimento intermediário para que aplicação a seguir, no caso o revestimento principal tenha uma boa aderência, servindo como meio de preparação de superfícies. As camadas de

ligação são selecionadas para proteger o substrato e fornecer adesão adequada do revestimento ao substrato. LADEIRA (2000 apud ARAÚJO, 2010)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

A composição química e os dados técnicos dos pós utilizados para aspersão estão apresentados nas tabelas abaixo. Na Tabela 2 é apresentada a composição química da liga Solocoat-840. Na Tabela 3 é apresentado os dados técnicos da liga solocoat-840. Na Tabela 4 é apresentado a composição química da liga UltraBond 25000.

Tabela 2 – Composição química da liga solocoat-840 (% em peso)

Pó	Ni	Cr	Al	Mo	Fe
	Balanço	9	4	5,5	5

Fonte: Adaptado Wall Comonoy

Tabela 3 – Dados técnicos da liga Solocoat-840

Dureza do revestimento	HRB 80
Espessura do revestimento	Sem limite
Temperatura de operação Máx.	871,11 °C
Força de adesão	62,05 Mpa

Fonte: Adaptado Wall Comonoy

Tabela 4 – Composição química do Bond Coat Ultra Bond 25000

Pó	Ni	Al	B	Mo
	Balanço	5,550	0,040	5,130

Fonte: Adaptado Eutectic Castolin

3.2 PREPARAÇÃO DO SUBSTRATO

As chapas metálicas utilizadas como substrato são de aço carbono SAE 1020 com espessura de 1mm.

Foi utilizado ácido fosfórico, 40% em peso, para a limpeza e retirada de qualquer resíduo de óleo ou graxa remanescente nos corpos de prova. Após a aplicação, as amostras foram limpas com álcool para a remoção dos resíduos de ácido da superfície metálica e secadas com ar quente.

Foi feita a escolha de usar camada de ligação (bond coat) pelo fato da liga metálica não estar aderindo ao substrato nas fases de teste da aspensão.

Foi realizado pré-aquecimento na faixa de 90 a 110° C, foram utilizados os acessórios do equipamento RotoTec 1A para o controle da temperatura.

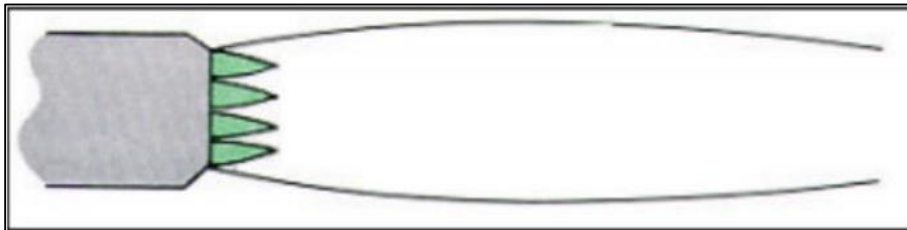
3.3 PROCESSO DE ASPERSÃO

O equipamento utilizado para aplicação do bond coat e da liga solocoat-840, foi o equipamento da marca Castolin Eutectic modelo RotoTec 1A. Os valores de pressão dos gases utilizados para as deposições foram definidos a partir dos valores recomendados pelo fabricante:

- Acetileno – 0,55 bar;
- Oxigênio – 1,4 bar.

O fabricante recomenda que a chama deva ser levemente oxidante como mostrado na figura 6 abaixo.

Figura 6 – Configuração correta da chama

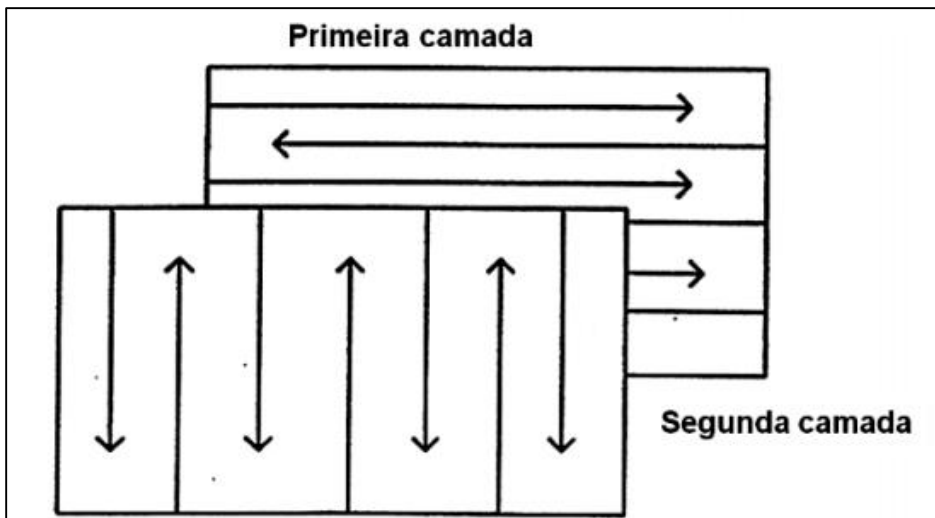


Fonte: Manual RotoTec1A.

As deposições foram realizadas por meio de operação manual e os números de passes necessários para alcançar a espessura desejada foi definido por aplicações teste para o bond coat e para o Solocoat-840.

A distância entre o substrato até tocha de aspensão foi de aproximadamente 180 mm. A espessura do bond coat foi de 100 a 200 μm com um passe e o revestimento da liga metálica entre 100 a 200 μm com número de passes de dois a três. Os passes são compostos por movimentos horizontais e verticais como são mostrados na figura 7, retirada da norma Petrobrás N-2568.

Figura 7 – Movimento e camadas que constituem um passe na aspersão térmica



Fonte: Adaptado da norma Petrobrás N-2568

3.4 PROCESSO DE REFUSAO

O processo de refusão ocorreu através de dois métodos diferentes:

- Refusão por chama, utilização da própria chama do processo de aspersão;
- Refusão por indução; utilizando o processo de Tungsten Inert Gas (gás inerte tungstênio – TIG)

3.5 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX)

Os difratogramas de raios-X (DRX) foram obtidos no equipamento Rigaku, modelo MiniFlex 600 para identificação das fases dos revestimentos, utilizando faixa de varredura de 20 a 90° com velocidade de varredura de 1°/min e passo 0,02°. Foi utilizado o programa Origin 8.5 para plotagem do gráfico.

3.6 ENSAIO DE TRAÇÃO (ADESÃO/COESÃO)

O ensaio foi realizado como é estabelecido na norma ASTM-C633, utilizado para avaliação da resistência de adesão de um revestimento aspergido. Foram utilizados 9 corpos de prova cilindros de aço SAE 1020 com 25 mm de diâmetro e com 25 mm de comprimento. Conforme estabelecido na norma, os corpos de provas aspergidos foram colados com um adesivo à base epóxi em outros corpos de prova de mesma dimensão não aspergidos. A cola utilizada para a preparação dos corpos de prova para o ensaio de aderência, foi o adesivo Epóxi Wurth ESR-12 com o processo de cura parcial de 10 minutos e cura total de 24 horas em temperatura ambiente.

Após a cura do adesivo, o conjunto foi montado e tracionado até a ruptura. Para tracionar as amostras foi utilizado o equipamento de ensaio universal mostrado na figura 8.

Foi necessário a fabricação de um dispositivo descrito na norma pois é essencial a presença dele para que o ensaio ocorra de forma ideal, pois a finalidade do dispositivo é acoplar no equipamento de tração para que apenas exerça força axial nos corpos de prova, como pode ser visto na figura abaixo.

Figura 8 – Máquina de ensaio universal utilizado para o ensaio de adesão com o dispositivo construído para o ensaio, com os corpos de prova após a ruptura

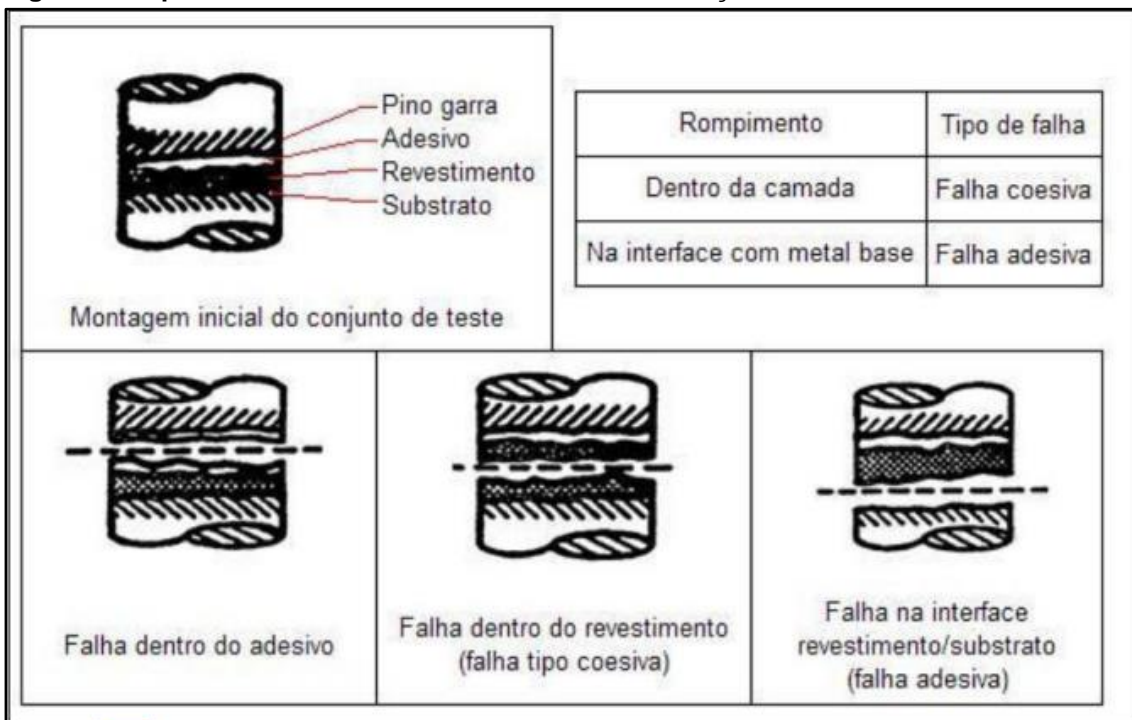


Fonte: Autoria própria (2016).

A análise do rompimento permite reconhecer o tipo de falha: falha coesiva, que ocorre dentro do revestimento; adesiva, ocorre na interface do revestimento com o metal; mista, que ocorre ambas as falhas coesivas e adesivas; falha no adesivo, ocorre no corpo de prova sem revestimento, indicando que adesão e coesão ficaram acima do limite do adesivo. Todos os tipos de falhas são mostrados na figura 9 abaixo.

A avaliação é feita a partir da tensão necessária para o rompimento das amostras junto com o local onde houve a separação.

Figura 9 – Tipos de fraturas resultantes do ensaio de tração



Fonte: Adaptado da norma PETROBRÁS N-2568.

3.7 ENSAIO DE DOBRAMENTO

Utilizando corpos de prova no formato de chapas, com dimensões de 75x50x1,25 mm de comprimento, largura e espessura respectivamente, no material de aço carbono, já aspergidas. O procedimento foi realizado conforme a norma

Petrobrás N-2568. Onde foi ensaiado com um mandril de diâmetro de 13 mm, com o lado aspergido oposto ao mandril e o corpo de prova dobrado até atingir 180°. O procedimento foi realizado na máquina de ensaio universal da empresa Time, mostrado na imagem abaixo.

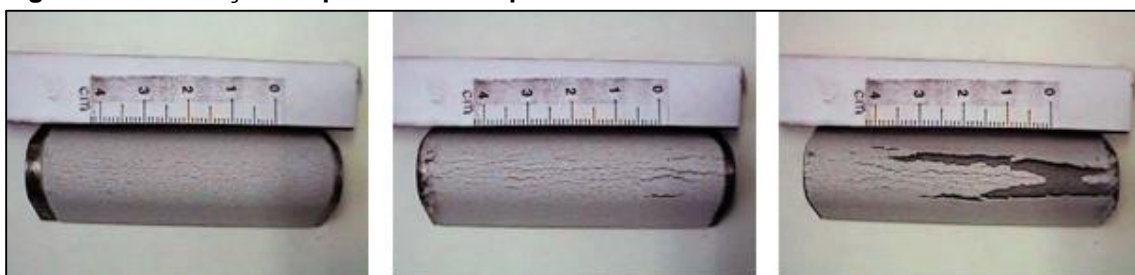
Figura 10 – Máquina de ensaio universal utilizado para o ensaio de dobramento



Fonte: Autoria própria (2016).

Após o ensaio, o revestimento do corpo-de-prova não pode ter indícios de trincamento grosseiro; trincas finas e curtas na região do dobramento são permitidas. A figura 11 adaptada da norma, apresenta o critério de avaliação dos ensaios de dobramento.

Figura 11 – Condição e Aparência da superfície dos ensaios de dobramento



(a) Ideal

(b) Marginal

(c) Rejeitada

Condição	Aparência da superfície
Ideal	Sem micro trincas ou micro trincas superficiais
Marginal	Contém micro trincas, sem desgarramento ou deslocamento da camada
Rejeitada	Contém trincas e fendas com desgarramento e deslocamento da camada

Fonte: Adaptado da norma PETROBRÁS N-2568.

3.8 MICROSCOPIA ÓTICA (MO)

Após aspergidas as amostras foram preparadas para a microscopia ótica no Laboratório de Ensaios Mecânicos, H005 da UTFPR-PB. Inicialmente foram cortadas na cortadora metalográfica da empresa Arotec, modelo COR-40, apresentado na figura 12, onde as amostras de cada condição de aspersão foram cortadas e depois embutidas em baquelite. Foram utilizadas prensas para o embutimento das empresas Arotec e Fortel, modelo PRE-30s e EF30 respectivamente, representados na figura 12.

Figura 12 – Equipamentos para execução da microscopia ótica Cortadora metalográfica e prensas de embutimento

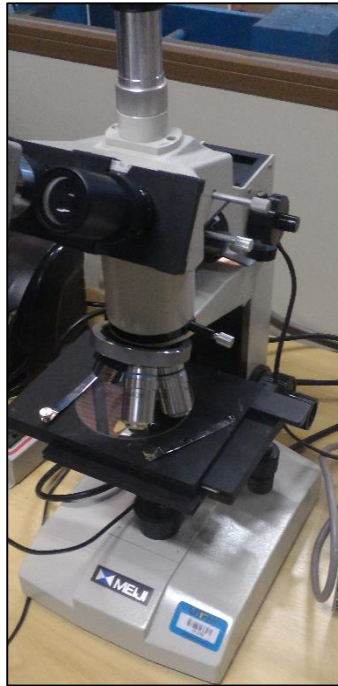


Fonte: Autoria própria (2016).

Logo após o embutimento as amostras foram lixadas com a seguinte granulometria: 120, 220, 320, 440, 600 e 1200 e polidas com alumina de 0,3 μm . No caso do estudo do revestimento não foi utilizado ataque químico.

Após todos esses procedimentos, os revestimentos foram observados no microscópio ótico da empresa Meiji, modelo ML8000, que possui aumentos de 50, 100, 200 e 400 vezes, mostrado na figura 13 para avaliação microestrutural.

Figura 13 – Microscópio óptico Meiji, utilizado para análise microestutural



Fonte: Autoria própria (2016).

3.9 MICRODUREZA VICKERS

As amostras aspergidas foram submetidas ao ensaio de microdureza Vickers através do durômetro da marca Time, modelo TH-710, com obtenção de imagens com aumento de 400 vezes, mostrado na figura 14. Foi utilizada carga de 0,245 N ou 25 gf, durante 15 segundos e 10 medições para cada tipo de análise.

Figura 14 – Microdurômetro Time modelo TH – 710, utilizado para a medição da microdureza Vickers



Fonte: Autoria própria (2016).

Para a execução das medições, as amostras foram embutidas em baquelite, lixadas e polidas utilizando os mesmos processos feitos na microscopia ótica. No caso do estudo do revestimento não foi utilizado ataque químico.

Foram realizados três tipos de análise nos revestimentos aspergidos:

Análise 1: Microdureza do substrato até a superfície do revestimento passando pela liga intermediária de aderência;

Análise 2: Microdureza em regiões sem defeitos ao longo do revestimento; apenas na estrutura lamelar.

Análise 3: Microdureza em regiões com defeitos ou sem defeitos ao longo do revestimento; regiões aleatórias.

Este tipo de análise realizado no trabalho para a dureza do revestimento é utilizado em empresas que produzem revestimentos e pela Petrobrás. (BRITO, 2010)

3.10 PROCESSOS UTILIZADOS NOS CORPOS DE PROVA

A Tabela 5 mostra todos os processos utilizados nos corpos de prova utilizados no trabalho.

Tabela 5 – Processos utilizados nos corpos de prova

Amostras	Ensaio	Bond Coat	Solocoat - 840	Refusão
M06	Dobramento	Sim	Sim	Não
M07	MO, Dureza, DRX	Sim	Sim	Não
M08	Dobramento	Sim	Sim	Chama
M09	MO, Dureza, DRX	Sim	Sim	Chama
M10	MO, Dureza, DRX	Sim	Sim	TIG
M13	Dobramento	Sim	Sim	TIG
MC01	Adesão	Sim	Sim	Não
MC02	Adesão	Sim	Sim	Chama
MC03	Adesão	Sim	Sim	TIG
MC04	Adesão	Sim	Sim	Não
MC05	Adesão	Sim	Sim	Chama
MC06	Adesão	Sim	Sim	TIG
MC07	Adesão	Sim	Sim	Não
MC08	Adesão	Sim	Sim	Chama
MC09	Adesão	Sim	Sim	TIG

Fonte: Autoria própria (2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

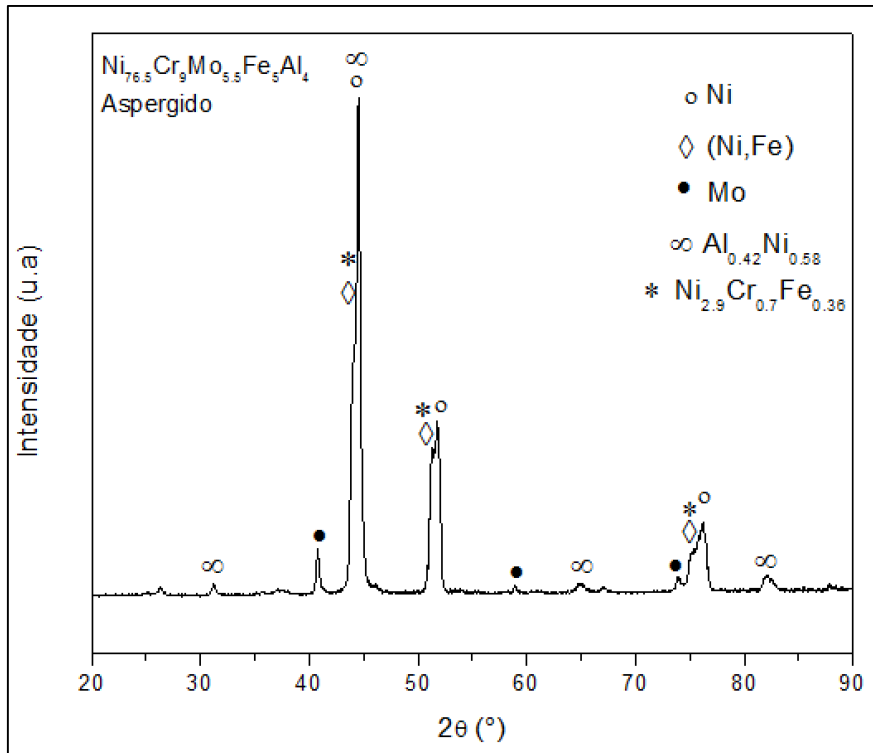
4.1 DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (DRX)

Nas Figuras 15, 16 e 17 é possível observar os difratogramas de raios-X para as amostras com substrato de aço 1020, para revestimentos da liga metálica $Ni_{76.5}Cr_9Mo_{5.5}Fe_5Al_4$ (Solocoat-840) com camada de ligação da liga comercial a base de níquel, UltraBond 25000, para as situações de revestimento como aspergido, refundido por chama e refundido por processo TIG respectivamente.

No difratograma da Figura 15 foram identificadas cinco fases no revestimento: as fases Ni, (Ni,Fe), Mo, $Al_{0,42}Ni_{0,58}$; a fase $Ni_{2,9}Cr_{0,7}Fe_{0,36}$. Apesar da identificação de diversos compostos intermetálicos e elementos puros como Molibdênio, a fase de maior predominância apresentando os picos de maior

intensidade é o níquel, o que é explicado pela grande quantidade do elemento nas ligas.

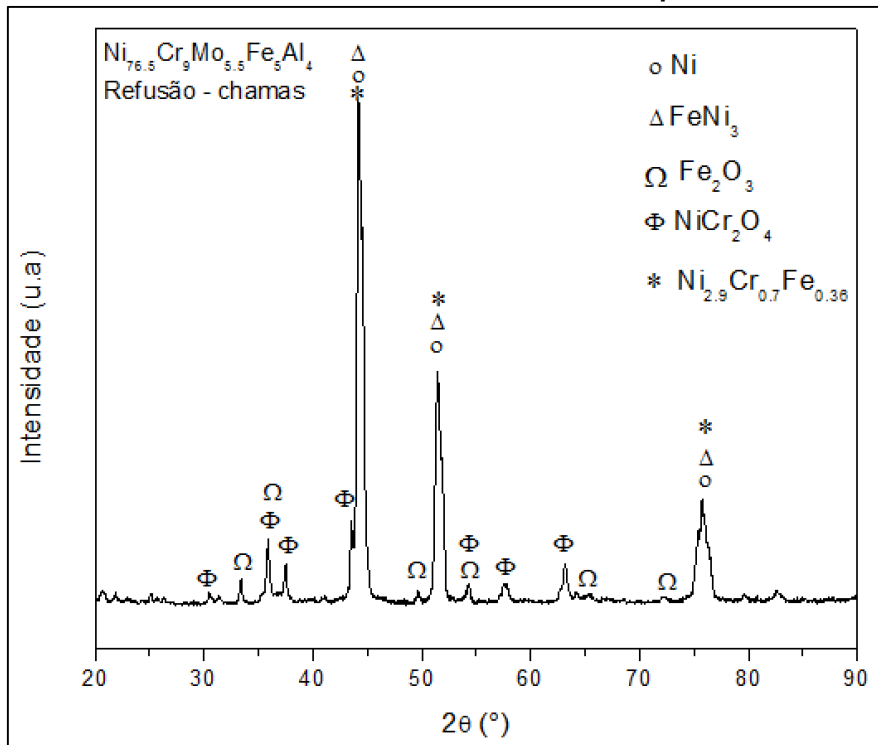
Figura 15 – Difratoograma de raios-X do revestimento da liga NiCrAlMoFe em substrato de aço 1020



Fonte: Autoria própria (2016).

As fases cristalinas presentes no revestimento da liga $\text{Ni}_{76.5}\text{Cr}_9\text{Mo}_{5.5}\text{Fe}_5\text{Al}_4$ em um substrato de aço 1020 com refusão por chamas são mostrados no difratograma da Figura 16, onde se observa a presença das fases Ni, FeNi_3 , Fe_2O_3 , NiCr_2O_4 e $\text{Ni}_{2.9}\text{Cr}_{0.7}\text{Fe}_{0.36}$. Novamente o níquel aparece como fase predominante, a particularidade desse difratograma são os óxidos identificados, o que era esperado pois o processo de refusão por chamas contém oxigênio como gás comburente. A formação de alguns intermetálicos diferentes dos encontrados no difratograma anterior sugere que a refusão por chamas atuou na formação dessas fases.

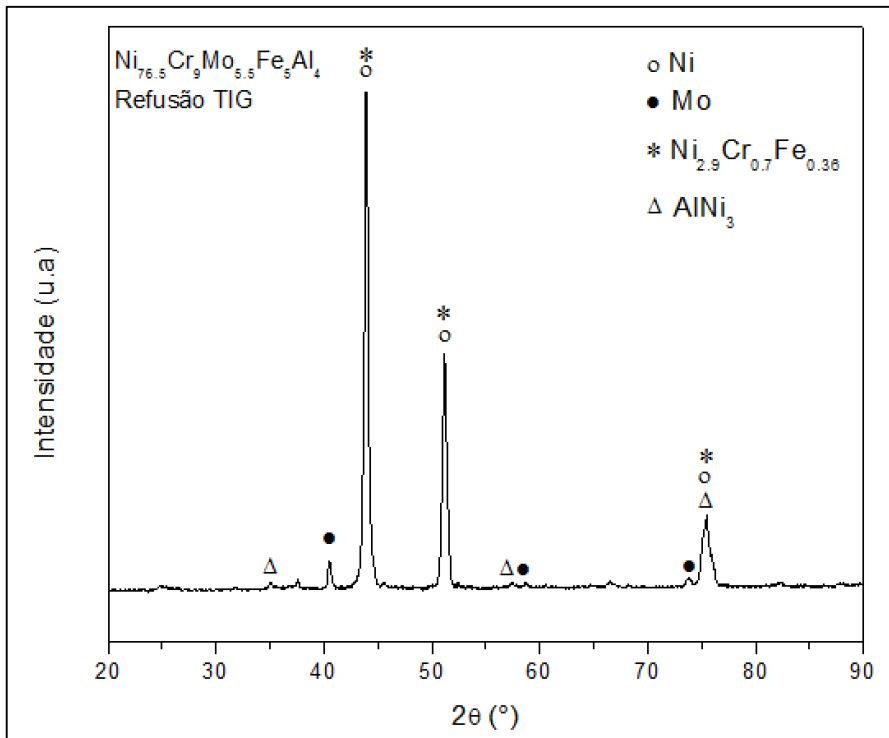
Figura 16 – Difratoograma de raios-X do revestimento da liga NiCrAlMoFe em substrato de aço 1020 com refusão por chama



Fonte: Autoria própria (2016).

No difratograma de raios-X da figura 17, obtido a partir do revestimento da liga NiCrAlMoFe com refusão pelo processo TIG, identificou-se as fases AlNi₃, Ni, Mo, e Ni_{2,9}Cr_{0,7}Fe_{0,36}. A grande quantidade de níquel nas composições das ligas fez prevalecer novamente a predominância dessa fase cristalina. Quando comparado aos outros difratogramas percebe-se que é muito similar ao difratograma da figura 15, o que sugere que o processo TIG, o qual possui o gás argônio, inerte como proteção, diminuiu a interferência dos contaminantes.

Figura 17 – Difratoograma de raios-X do revestimento da liga NiCrAlMoFe em substrato de aço 1020 com refusão por TIG



Fonte: Autoria própria (2016).

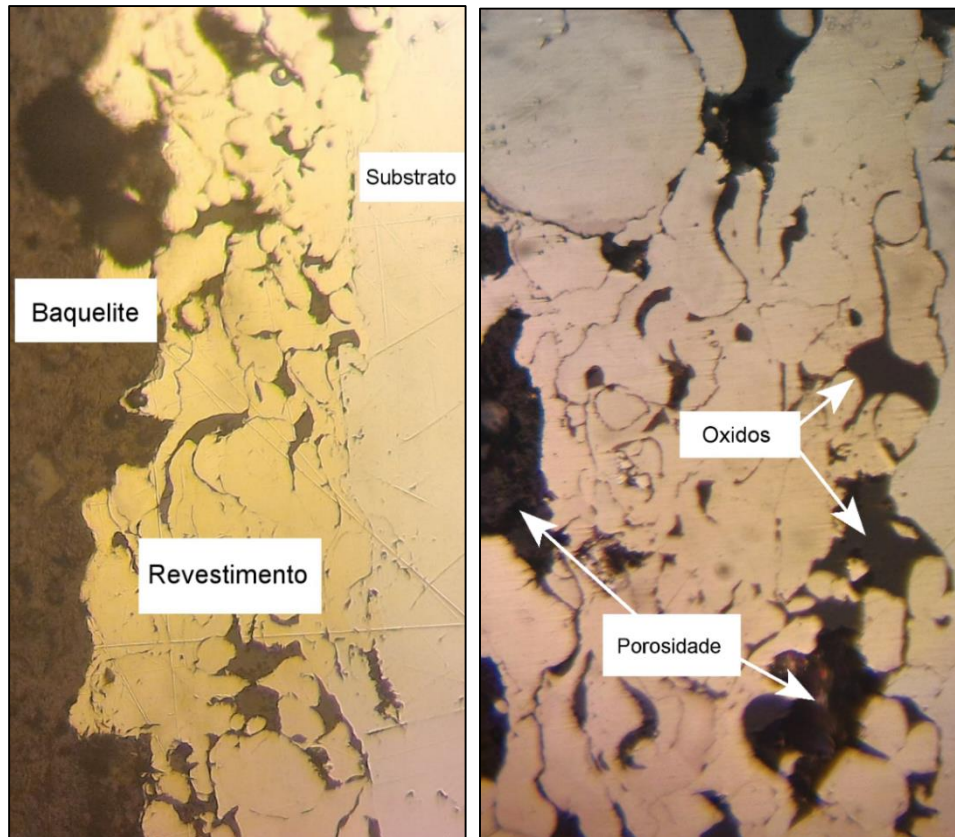
4.2 MICROSCOPIA ÓTICA (MO)

A seguir são mostradas as micrografias obtidas após a análise por microscopia ótica das três condições estudadas neste trabalho. É possível identificar nas imagens, os poros no revestimento e os óxidos formados. Inerente ao processo de aspersão é a formação de poros. A condição 1 mostrada na figura 18 é da amostra apenas aspergida. Apresentou lamelas bem característica do processo de aspersão e com a existências de porosidade.

A condição 2 apresentada na figura 19, é da amostra refundida por chamas, que apresentou maior número de óxidos do que a condição 1 e próximos do substrato. As lamelas do revestimento não são mais nítidas, a apresenta aparência mais próxima de fundido.

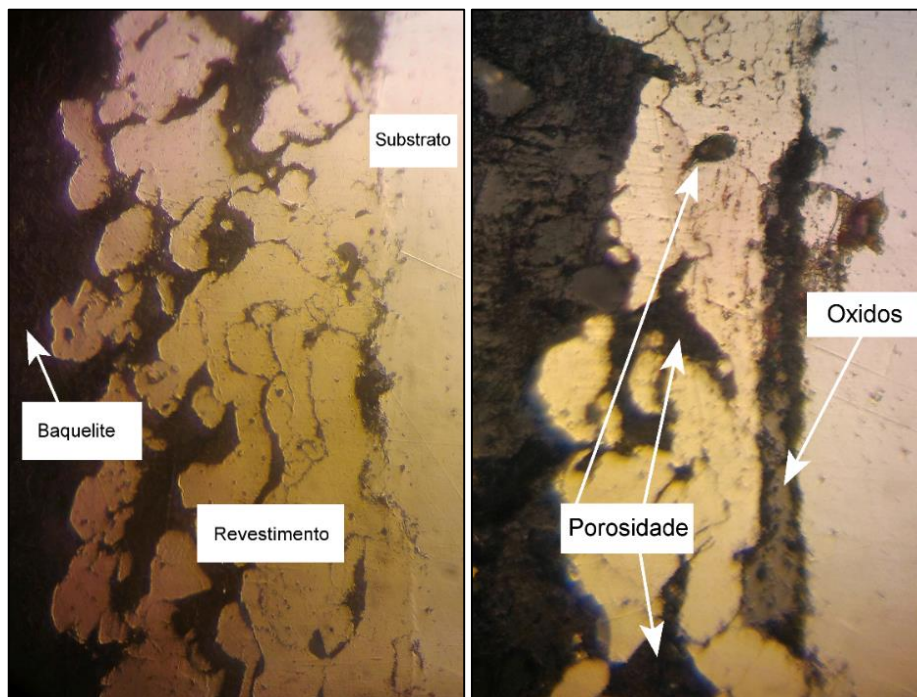
Na figura 20 apresenta a condição 3, que a amostra foi refundida pelo processo TIG, e nela percebe-se a superfície do revestimento bem mais uniforme, porém as camadas perto do substrato ainda com forma de lamelas e formação de óxidos no meio do revestimento.

Figura 18 – Micrografias da condição 1 após aspensão térmica com aumento de 40x e 400x



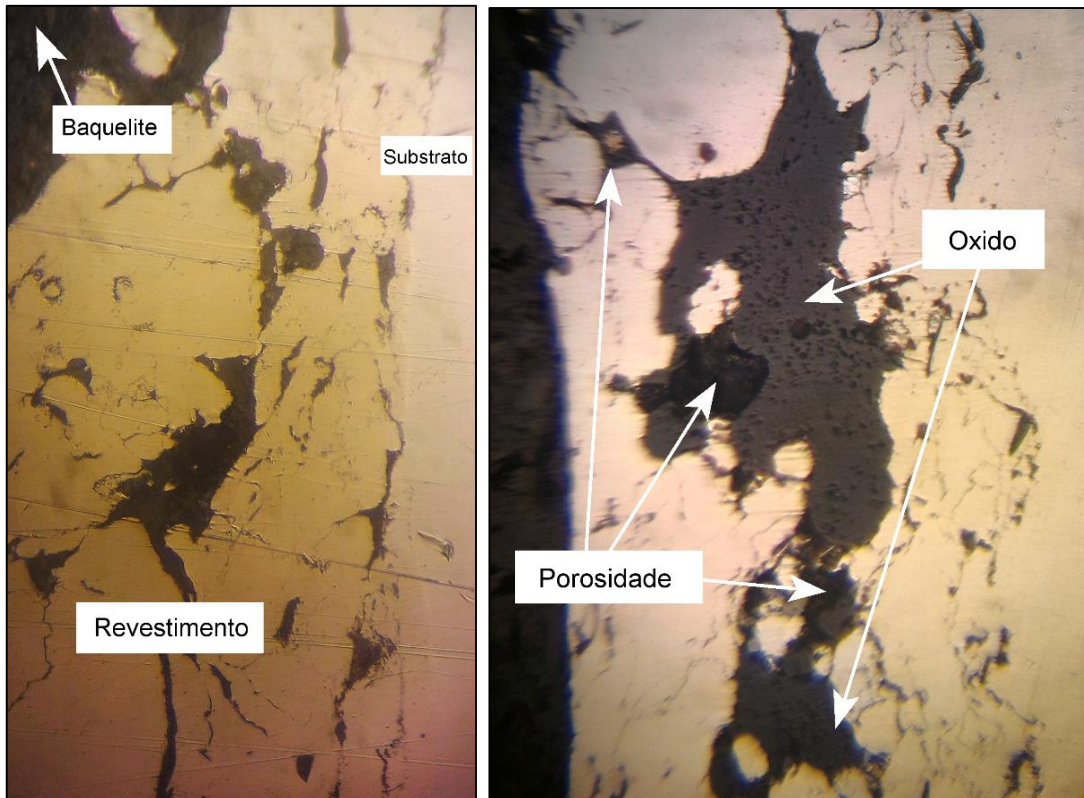
Fonte: Autoria própria (2016).

Figura 19 – Micrografias da condição 2 após aspensão térmica e pós-tratamento com aumento de 40x e 400x



Fonte: Autoria própria (2016).

Figura 20 – Micrografias da condição 3 após aspensão térmica e pós-tratamento com aumento de 40x e 400x



Fonte: Autoria própria (2016).

4.3 MICRODUREZA VICKERS

As condições dos revestimentos para medição da microdureza são apresentadas na Tabela 5.

4.3.1 Análise 1

Microdureza do substrato até a superfície do revestimento passando pela liga intermediária de aderência. Representado na figura 21

Figura 21 - Exemplo de impressões de microdureza do substrato até o revestimento aumentado 400x



Fonte: Autoria própria (2016).

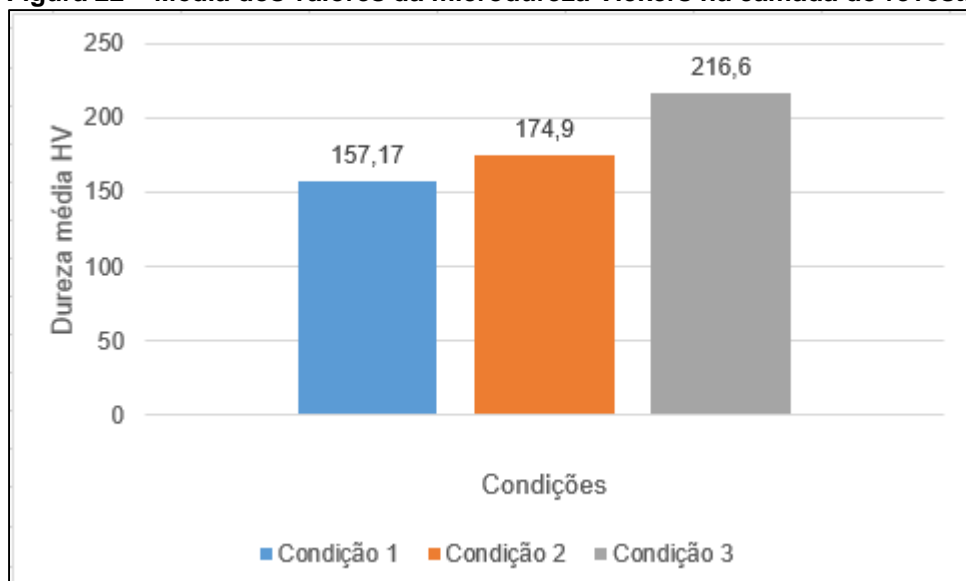
A tabela 6 e na figura 22, são apresentados os valores da microdureza Vickers do substrato até a superfície do revestimento. Realizando oito medições para cada amostra, foi a quantidade que a espessura do revestimento permitiu sem que as impressões interferissem nos resultados uma das outras. Com isso podemos calcular a média e desvio padrão. A tabela 7 mostra os valores das medições ao longo do revestimento.

Tabela 6 -Valores da microdureza Vickers do substrato até o revestimento.

	Média (HV)	Desvio Padrão
Condição 1	157,17	±69,5
Condição 2	174,9	±51
Condição 3	216,6	±68,85

Fonte: Autoria própria (2016).

Figura 22 – Média dos valores da microdureza Vickers na camada do revestimento



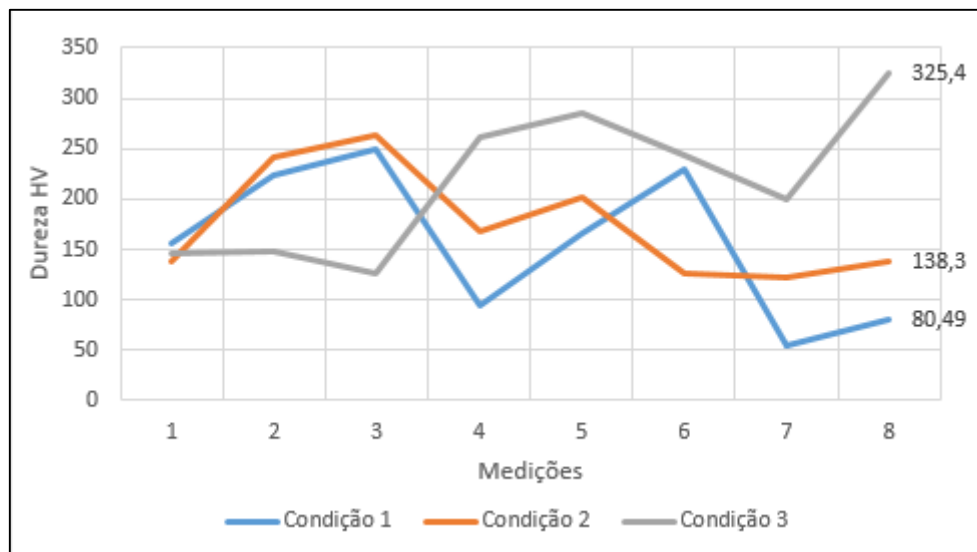
Fonte: Autoria própria (2016).

Tabela 7 – Valores das durezas na camada do revestimento (seção transversal).

Medições (HV200)	Condição 1 (Aspergido)	Condição 2 (Chama)	Condição 3 (TIG)
1(substrato)	155,8	137,4	145,1
2 (Liga Intermed.)	224,4	240,8	147,2
3	249,8	264,1	126
4	95,24	167,8	261,6
5	166,5	201	285,2
6	230	126,8	243
7	55,13	122,8	199,4
8	80,49	138,3	325,4

Fonte: Autoria própria (2016).

Figura 23 – Valores de Microdureza ao longo do substrato até o revestimento nas três condições



Fonte: Autoria própria (2016).

4.3.2 Análise 2

Microdureza em regiões sem defeitos ao longo do revestimento; apenas na estrutura lamelar.

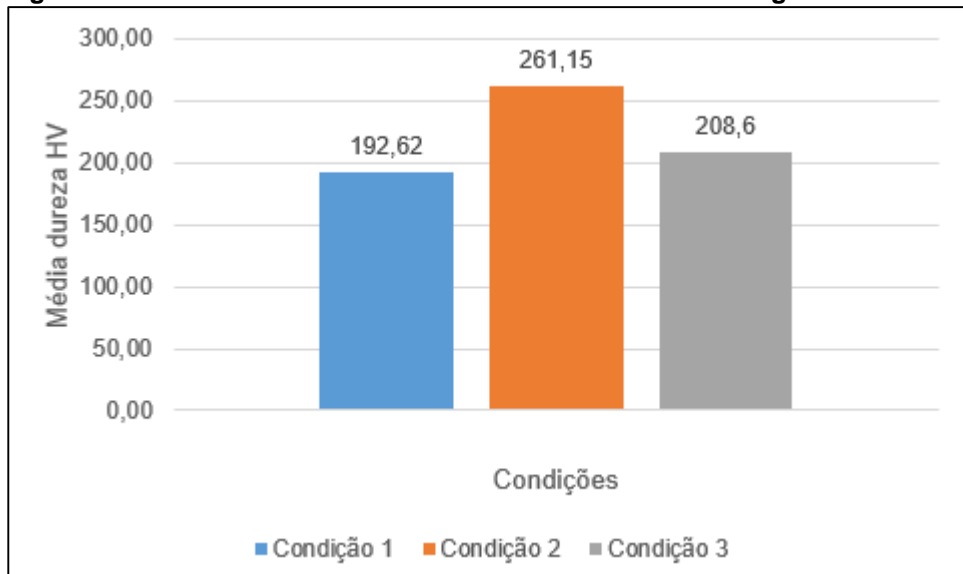
A tabela 8 e na figura 24 são apresentados os valores da microdureza Vickers em regiões sem defeito ao longo do substrato. Realizando dez medições para cada amostra.

Tabela 8 - Valores da microdureza Vickers em regiões sem defeitos ao longo do revestimento.

	Média (HV)	Desvio Padrão
Condição 1	192,62	±64,5
Condição 2	261,15	±51,51
Condição 3	208,6	±54,42

Fonte: Autoria própria (2016).

Figura 24 – Média dos valores da microdureza Vickers em regiões sem defeito



Fonte: Autoria própria (2016).

4.3.3 Análise 3

Microdureza em regiões com defeitos ou sem defeitos ao longo do revestimento; regiões aleatórias.

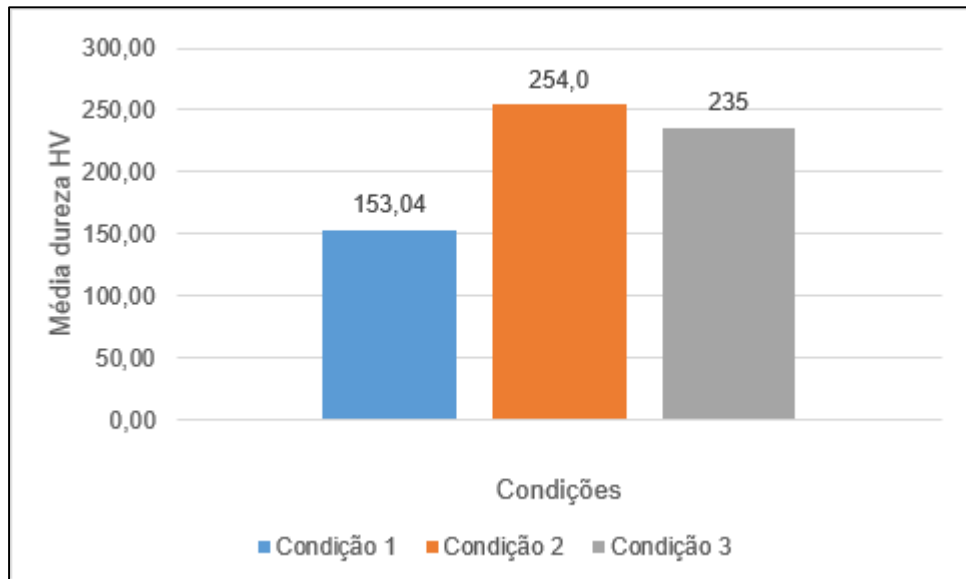
A tabela 9 e na figura 25 são apresentados os valores da microdureza Vickers em regiões com defeito ou sem defeito ao longo do substrato. Realizando dez medições para cada amostra.

Tabela 9 -Valores da microdureza Vickers em regiões com defeitos ou sem defeitos ao longo do revestimento.

	Média (HV)	Desvio Padrão
Condição 1	153	54,30
Condição 2	254	69,91
Condição 3	235	82,50

Fonte: Autoria própria (2016).

Figura 25 – Média dos valores da microdureza Vickers em regiões com ou sem defeitos



Fonte: Autoria própria (2016).

Foi possível identificar um relativo aumento do valor médio dureza do substrato (146,1 HV) para o valor médio dos revestimentos mostrados nas figuras 24 e 25, sendo uma possível opção para o aumento da dureza em aplicações do revestimento estudado.

As análises feitas nas amostras com a condição 1, tiveram os resultados da dureza média próxima da dureza estipula pelo fabricante (80 HRB aproximadamente 170 HV).

A condição 3 da análise 1 apresentou o maior valor de dureza perto da superfície do revestimento (325 HV), provavelmente pelo efeito da fase intermetálica (Ni_3Al) identificada na condição 3 pelo DRX que apresentam resistência mecânica elevada. (FILHO, 2016). Outro provável fator influente foi o baixo valor de corrente utilizado no equipamento TIG para realizar a refusão, baixos valores de correntes diminuem os valores de penetração no material.

A condição 2 dá análise 1 apresentou maior valor de dureza próximos a camada de ligação (bond coat) como valores entre 240 a 260 HV, provavelmente devido as fases (FeNi_3 e $\text{Ni}_{2,9}\text{Cr}_{0,7}\text{Fe}_{0,36}$) que são endurecidas por solução sólida aumentando a resistência mecânica do revestimento. (FILHO, 2016)

Nas análises 2 e 3, a dureza média da condição 2, foram maiores do que a dureza média na condição, provavelmente devido a corrente utilizada no equipamento não conseguir realizar a refusão em toda a espessura do revestimento.

4.4 ENSAIO DE TRAÇÃO (ADESÃO/COESÃO)

Os corpos de prova aspergidos para o ensaio de aderência passaram pelos processos de adição de bond coat e da liga metálica e por processos de pós-tratamento apresentados na Tabela 5.

A Tabela 10 apresenta os resultados do ensaio de aderência. Os modos de falha nos corpos de prova foram do tipo mista, com falha adesiva e coesiva e falha do adesivo.

Tabela 10 – Resultados do ensaio de aderência.

Amostra	Carga (kN)	Tensão (MPa)
MC01	-	-
MC02	5,3	10,5
MC03	5,8	11,4
MC04	3,6	7,1
MC05	5,8	11,4
MC06	4,6	9,1
MC07	2,4	5,4
MC08	4,4	9,9
MC09	5,7	12,9

Fonte: Aatoria própria (2016).

Na figura 26 a) podemos ver que a amostra MC01 sofreu falha no adesivo e não foi registrado carga no equipamento, mostrando assim uma falha de adesão da cola epóxi ao corpo de prova de contraprova, resultado sem validade objetiva. Porém as outras amostras mostraram (MC04 e MC07) apresentaram falha adesiva, que ocorre entre a interface revestimento e substrato.

O corpo de prova MC02, na figura 26 b), assim como as outras amostras (MC05 e MC08) que passaram por refusão por chama sofreu ruptura mista, entre a falha adesiva (interface revestimento/substrato) e falha coesiva (interior do revestimento).

O corpo de prova MC03, na figura 26 c), assim como as outras amostras (MC06 e MC09) sofreram falha no adesivo, mostrando que a força de adesão é maior que o valor da resistência a adesão do adesivo.

A cola epóxi tem resistência a tração de aproximadamente 8,9MPa, fornecida pelo fabricante. Já a liga metálica resistência a tração de 62,5 MPa segundo o fabricante.

Os valores de tensão aumentaram após os processos de refusão. Os corpos de prova aspergidos tiveram tensão média de 6,2 MPa, já os refundidos com chamas tiveram 10,6 MPa, pouco inferior aos refundidos por TIG, que tiveram 11,1 MPa de tensão média.

Figura 26 - Amostras após o ensaio de aderência



Fonte: Autoria própria (2016).

Entre os processos de pós tratamento, o processo TIG apresentou melhor resultado para adesão do revestimento ao substrato do que o processo por chama, pelo valor de carga e tipo da falha. Porém não é uma diferença significativa, fazendo com que a técnica por chama não possa ser descartada como alternativa de pós-tratamento para a liga estudada.

4.5 ENSAIO DE DOBRAMENTO

Este ensaio é outra forma de avaliar a adesão do revestimento ao substrato. A figura 27 mostra os resultados das amostras após o ensaio de dobramento, em todas as amostras não foi observado evidências de trincas ou micro trincas, com isso nos leva interpretação que o revestimento tem um certo grau de deformação e boa adesão ao substrato, independente do pós-tratamento utilizado neste trabalho.

A tabela 5 mostra os processos pelos quais os corpos de prova passaram antes do ensaio de dobramento.

Figura 27 - Amostras M06, M08 e M13 após o ensaio de dobramento



Fonte: Autoria própria (2016).

5 CONCLUSÕES

Foi observado que a utilização do processo de refusão tanto por chama quanto por TIG aumentou relativamente a dureza média do revestimento (de 170 HV para aproximadamente 260 HV) fazendo com que possa ser alternativa viável para o endurecimento do revestimento. Apesar da refusão por TIG ter atingido uma camada fina do revestimento, poderia ter resultados melhores de dureza aumentando a corrente utilizada no equipamento, pois o revestimento da condição 3 apresentou uma fase de intermetálico (Ni_3Al) que apresentam resistência mecânica e a corrosão elevadas.

No ensaio de adesão, foi visto que os processos refusão aumentam a adesão do revestimento. Entre os processos de refusão, o processo por chamas mostrou-se levemente inferior na questão da tensão de adesão. O tipo de falha (falha adesiva) do processo em comparação ao processo TIG, que apresentou falha do adesivo com valores de tensões maiores do que por chamas também é outro ponto negativo.

Todas as amostras não apresentaram sinais de trincas quando ensaiadas em dobramento, mostrando que o revestimento tem um certo grau de deformação e boa adesão ao substrato.

Nas microscopias óticas foi observado a presença de óxidos e porosidades em todas as amostras avaliadas das três condições de estudo, que era esperado já era esperado por ser inerente ao processo de aspersão por chama.

Fica de sugestão para trabalhos futuros analisar o revestimento estudado quanto ao desgaste abrasivo, como o ensaio de roda de borracha para os mesmos processos de refusão. Estudo para determinar a resistência a corrosão do revestimento nas situações estudadas. E a realização de um estudo de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para estudar aspectos de difícil avaliação por microscopia ótica (MO) como a presença de microtrincas, tipos de porosidades do revestimento.

REFERÊNCIAS

ALENCAR, Gladson Torres de Mesquita. **Efeitos da adição de carbonetos na resistência ao desgaste e à corrosão de uma liga auto-fluxante depositada por aspersão térmica.** 2009, 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **C633-01.** United States of America, 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **E1920-03.** United States of America, 2012.

ARAÚJO, J. C. S. **Produção e caracterização de revestimento cerâmico Al₂O₃-ZrO₂-Y₂O₃ inerte ao petróleo cru por processo de aspersão térmica para indústria petrolífera.** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 4287.** Rio de Janeiro, Setembro de 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 6507-1.** Rio de Janeiro, Agosto de 2008.

BRITO, V. R. S. S. **Caracterização de Revestimentos Metálicos Aspergidos Termicamente por Arco Elétrico.** Rio de Janeiro: Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2010.

DAVIS, J.R. **Handbook of Thermal Spray Technology.** ASM International, 2004.

EUTECTIC CASTOLIN, **Manual de Utilização do Processo RotoTec1A.**

FILHO, M. A. D. **Influência das variáveis do processo de soldagem TIG alimentado duplo arame quente na diluição e morfologia de cordões de solda de inconel 625 depositado em um aço AISI/SAE 4130.** Curitiba, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016.

GONZÁLEZ, R. CADENAS, M.; FERNÁNDEZ, R.; CORTIZO, J.L.; RODRÍGUEZ, E. **Wear behaviour of flame sprayed NiCrBSi coating remelted by flame or by laser.** v. 262, 2007

IWASZKO, J. Surface remelting treatment of plasma-sprayed Al₂O₃ + 13 wt.% TiO₂ coatings. **Surface and Coatings Technology**, v. 201, n. 6, p. 3443–3451, 2006.

LIMA, Carlos C.; TREVISAN, Roseana. **Aspersão Térmica Fundamentos e Aplicações**. 2ªed. São Paulo: Artliber, 2007.

MARQUES, Paulo Villani. **Apostila de Aspersão Térmica**. Disponível em: <<http://www.infosolda.com.br/artigos/processos-de-soldagem/231-aspersao-termica.html>>. Acesso em: Mar 2016

PAREDES, Ramón S. Cortés. **Apostila de Aspersão Térmica**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, Curitiba, 2012. Disponível em: <<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM314/Apostila%20Aspers%E3o%20T%E9rmica%202012.pdf>>. Acesso em: Mar 2016

PAWLOWSKI, Lech. **The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings**. 2ªed. Inglaterra: Wiley, 2008

PETROBRÁS. **N-2568**. Brasil, Maio de 2011.

WEN, Z. H. et al. Effect of vacuum remelting on microstructure and wear resistance of NiCrMoY coatings deposited by supersonic atmospheric plasma spraying. **Surface and Coatings Technology**, v. 281, p. 62–67, 2015.

YAN, M.; ZHU, W. Z. Surface remelting of Ni-Cr-B-Si. v. 92, p. 157–163, 1997.