

# **EFEITO DO TRATAMENTO SUPERFICIAL SOBRE A CARGA DE RUPTURA DE JUNTAS SOBREPOSTAS SIMPLES UNIDAS POR ADESÃO.**

T.C.Mourão<sup>1</sup>, G.C.Mourão<sup>1</sup>, J.R. Berretta<sup>2</sup>, I. de S.Bott<sup>1</sup>, J.R.M.d'Almeida<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rua Marquês de São Vicente, 225 – Gávea – 22453-900, Rio de Janeiro, RJ  
Brasil.

<sup>2</sup>Centro de Lasers e Aplicações – CLA - IPEN/SP, Cidade Universitária "Armando Salles de Oliveira"- USP, Travessa R, 400 - CEP 05508-900, São Paulo - SP – Brasil

Resumo: Juntas unidas por adesão vem sendo cada vez mais empregadas em diversas aplicações industriais em substituição às técnicas convencionais de união, tal como soldagem. O emprego de adesivos na união de metais tem como grande vantagem a ausência de aporte de calor durante o processo de união. Deste modo, não existe uma zona termicamente afetada e, portanto, a microestrutura do substrato é mantida inalterada. A obtenção de uma junta unida por adesão com qualidade é, entretanto, dependente de numerosos fatores, dentre os quais se destaca uma adequada preparação da superfície dos substratos. Neste trabalho é feita a análise da influência de tratamentos químicos superficiais em um aço IF (Interstitial Free) sobre a variação da carga de ruptura de juntas sobrepostas simples. Estas juntas foram fabricadas tendo como adesivo uma resina epoxi de largo emprego comercial. A rugosidade das superfícies das juntas foi determinada e caracterizada por microscopia eletrônica de varredura. Os resultados experimentais mostram uma correlação entre o nível de rugosidade e a resistência da junta. Os valores de carga de ruptura obtidos foram comparados com resultados obtidos para juntas soldadas por Laser e indicam um bom desempenho das juntas coladas para solicitações mecânicas de até 350 kg.

Palavras-chave: adesão, preparação superficial, juntas sobrepostas simples, comportamento mecânico.

## 1. Introdução

Atualmente, diversos segmentos industriais vem procurando usar a técnica de união por adesão em substituição aos métodos convencionais de união, tais como soldagem ou rebiteagem. Exemplos importantes desta nova tendência são as aplicações de juntas coladas em plataformas de petróleo e estruturas navais e aeronáuticas[1-3]. Entre as vantagens deste tipo

de união de materiais pode-se destacar a ausência de aporte de calor durante o processo de junção, o que implica que a microestrutura dos aderentes não sofre alterações. Pode-se destacar, também, do ponto de vista da implementação do processo de união, que o custo é baixo, tendo em vista que os equipamentos necessários para promover a união por adesão são, geralmente, menos sofisticados que os normalmente empregados nos processos convencionais de junção de materiais[4].

A obtenção de uma junta unida por adesão com qualidade está, entretanto, diretamente ligada à preparação das superfícies dos aderentes. Existe uma forte dependência entre as micro e/ou macrorugosidades existentes na superfície dos aderentes e o comportamento das juntas[5-7]. Esta dependência propriedade-rugosidade é bastante complexa, pois diversos fatores relevantes para a colagem e, por vezes interdependentes, são afetados pela variação da rugosidade da superfície dos aderentes. Tais fatores incluem a tensão superficial do aderente, a área real de colagem disponível e a capacidade do adesivo molhar o aderente[8]. Além disto, a ancoragem mecânica, que é um dos mecanismos básicos de união por adesão, pode ser extremamente afetada em função do acabamento superficial do aderente[8,9]. De fato, já foi constatado que microrugosidades podem, mesmo, ser mais efetivas na promoção de uma boa junta do que macrorugosidades, pois as microrugosidades aumentam a área de ancoragem entre o adesivo e o aderente[9]. Superfícies com diferentes rugosidades podem, deste modo, alterar a eficiência da junção. É, portanto, necessário determinar-se para cada par aderente/adesivo a correlação existente entre a rugosidade superficial e as propriedades mecânicas finais obtidas na junta, a fim que se possa maximizar a eficiência da união. Deste modo, neste trabalho é feita uma análise da variação da carga de ruptura de juntas sobrepostas simples de aços IF, em função do tratamento químico superficial realizado, que gera diferente nível de microrugosidades no material.

## 2. Materiais e métodos experimentais

O material usado como substrato nas juntas coladas foi um aço IF (Interstitial Free), cuja composição média está mostrada na Tabela I.

Tabela I - Composição média do aço IF.

% em peso							
C	N	P	S	Si	Al	Mn	Ti
59 ppm	61 ppm	0,016	0,0091	0,007	0,044	0,144	0,076

Os aços livres de intersticiais, também denominados aços IF, possuem teores de carbono da ordem de 0,005 à 0,008% e traços de outros elementos de liga sendo utilizados na indústria automobilística devido a sua boa conformabilidade[10] e a possibilidade de ser revestido em banho à quente de Zn, o que os torna atraentes para a aplicação em eletrodomésticos. O emprego de juntas coladas deste material, principalmente quando usado em chapas finas, tem como grande vantagem evitar a distorção das chapas que ocorre devido ao aporte de calor que ocorre quando as chapas são unidas por soldagem a laser.

O substrato foi inicialmente desengraxado com acetona e limpo em ultrassom. Após esta limpeza superficial foram realizados ataques químicos com solução de nital 2%N, 4%N e 10%N, usando-se os tempos de ataque de 10, 30 e 60 s, para as três soluções. As superfícies obtidas foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura, tendo-se comparado o efeito causado pelos ataques na superfície do material em relação a superfície na condição de como recebida. As análises foram feitas usando-se o modo de operação com elétrons secundários e voltagem do feixe entre 15-20 kV.

A rugosidade dos substratos antes e após os ataques químicos foi determinada em um rugosímetro automatizado. Foram medidos oito perfis de rugosidade por amostra, para avaliar a uniformidade do tratamento superficial realizado.

Juntas sobrepostas simples empregando substratos com 80 mm de comprimento e 25,4 mm de largura foram fabricadas com um comprimento de sobreposto de 25,4 mm, de modo que as juntas fabricadas possuíam uma área colada de 25,4 mm x 25,4 mm. Como adesivo foi empregada uma resina epoxi de cura à frio, formada pelo monômero epoxi diglicidil éter do bisfenol-A (DGEBA) e pela amina alifática trietileno tetramina (TETA). A quantidade de endurecedor, TETA, usada foi de 13 partes em peso, para 100 partes do monômero, que corresponde a formulação estequiométrica para este sistema epoxi[11].

Com a finalidade de se comparar a carga de ruptura das juntas coladas com a de juntas tradicionais, foram preparadas juntas sobrepostas com as mesmas dimensões unidas por soldagem a laser. As soldas foram realizadas em um equipamento desenvolvido no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), denominado de central de processamento de materiais a laser (CPML) e que é composta por um laser de Nd:YAG, do tipo pulsado, com energia por pulso de até 10 J, taxa de repetição maior que 300 Hz, potência média de 100W, potência pico de 3 KW e largura temporal dos pulsos controlada entre 0,2 e 10 ms, acoplado a uma fresadora CNC de 4 eixos.

Os parâmetros do laser foram mantidos constantes em todas as soldas e utilizaram-se os seguintes valores: energia ( $E$ ) = 7,4 J, potência média ( $P_m$ ) = 81 W, tempo de pulso ( $t_p$ ) = 7

ms, diâmetro do feixe de incidência no MB ( $d_f$ ) =  $340 \times 10^{-6}$  m, densidade de potência ( $W_p$ ) =  $1,16 \times 10^{10}$  W/m<sup>2</sup> e frequência de pulsos ( $f$ ) = 11 Hz. Os cordões de solda foram realizados com velocidade de soldagem ( $v$ ) = 50 mm/min e sobreposição dos pulsos de 77%. Foram executadas soldas com o feixe a 45° em relação as peças, sendo a posição do feixe deslocada de 0,2 mm a partir da interface no sentido da peça superior. O gás de proteção utilizado foi Argônio (Ar) a uma vazão de 6 l/min.

Tanto as juntas coladas como as soldadas foram ensaiadas usando-se as mesmas condições experimentais, de acordo com a norma ASTM D 3163, para determinação da carga de ruptura. Foram ensaiadas pelo menos 5 amostras para cada junta analisada. Os ensaios foram feitos à temperatura ambiente, empregando-se uma máquina de ensaios de acionamento mecânico com capacidade de 100 kN. A velocidade de ensaio empregada foi de 1 mm/min.

### 3. Resultados experimentais

Os resultados das medidas de rugosidade obtidos em função do tempo de ataque e da concentração do ácido estão mostrados nas Tabela II e III, para as direções longitudinal, DL, e transversal, DT, à direção de laminação. Conforme pode ser observado, o principal parâmetro que influenciou os resultados foi a concentração do reagente. A variação da rugosidade em função do tempo de ataque existiu, porém foi pequena.

Tabela II – Rugosidade superficial da amostra como recebida, CR, e em função do ataque químico. Ataque com Nital 2%. Tempos de ataque: 10s, 30s e 60s. Valores em  $\mu\text{m}$ .

	CR	2N10	2N30	2N60
DL	$1,75 \pm 0,19$	$1,58 \pm 0,13$	$1,68 \pm 0,30$	$1,52 \pm 0,07$
DT	$1,35 \pm 0,14$	$1,53 \pm 0,09$	$1,62 \pm 0,07$	$1,37 \pm 0,12$

Tabela III - Rugosidade superficial em função do ataque químico. Ataques com Nital 4% e 10%. Tempos de ataque: 10s, 30s e 60s. Valores em  $\mu\text{m}$ .

	4N10	4N30	4N60	10N10	10N30	10N60
DL	$0,90 \pm 0,10$	$0,84 \pm 0,09$	$0,84 \pm 0,09$	$0,88 \pm 0,17$	$0,88 \pm 0,17$	$0,83 \pm 0,03$
DT	$0,83 \pm 0,15$	$0,88 \pm 0,02$	$0,97 \pm 0,15$	$1,03 \pm 0,14$	$0,99 \pm 0,11$	$0,80 \pm 0,13$

Para todos os ataques realizados obteve-se como efeito principal uma homogeneização da rugosidade superficial em relação a direção paralela e transversal à direção de laminação.

De fato, conforme pode-se inferir das Tabelas II e III, o material como recebido, CR, apresenta uma variação de rugosidade, 29%, em função da direção de medida maior que qualquer das superfícies atacadas. Para estas a maior variação foi de 14,5% para o ataque com nital 10% e 10 segundos.

Estes resultados estão de acordo com a análise morfológica realizada por MEV nas superfícies do material. As superfícies do material como recebido e após ataque são bem distintas, conforme mostrado na Figura 1. Na condição CR, o aspecto geral da superfície da amostra apresenta marcas de laminação e de deformação plástica, Figura 1a. No material atacado os relevos observados são mais uniformes, sem a presença marcante de picos e vales, e nota-se a presença de vazios provenientes do ataque químico, Figura 1b. Estes aspectos variaram em função do ataque químico realizado, tendo sido maximizados para a condição 10N, 60 segundos, onde uma extensa rede de vazios foi formada, conforme mostrado na Figura 2.

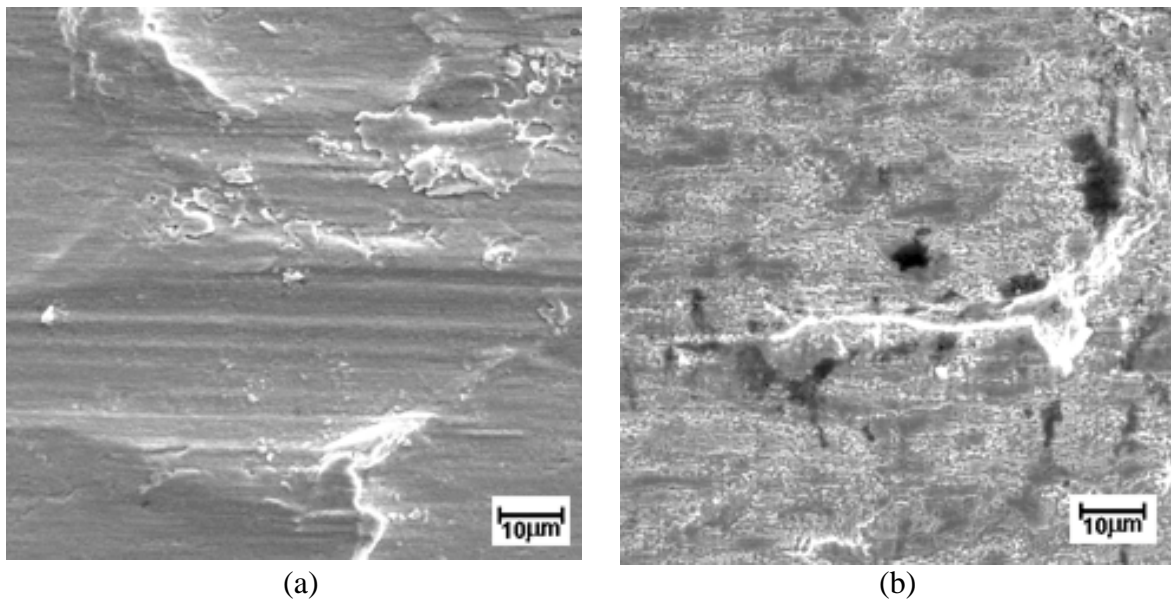


Figura 1 – a) Aspecto geral da superfície do material como recebido, mostrando marcas de laminação e de deformação plástica. b) Superfície do material atacado mostrando uma homogeneização da rugosidade superficial, com a redução das marcas de laminação. Podem ser observados vazios devido ao ataque. Ataque nital 2%, 60 segundos.

A Tabela IV mostra os resultados para a carga de ruptura das juntas sobrepostas simples. Além da condição de como fabricado, CR, foram fabricadas juntas tratadas, usando-

se o ataque 10N, 60 segundos, que maximizou a estrutura de vazios, e o ataque 2N, 30 segundos onde obteve-se um menor efeito sobre a topografia/estrutura original do material.

Os resultados para o ensaio mecânico mostram que a criação de vazios na superfície do material é mais eficaz para promover a adesão, do que a manutenção de um relevo de picos e vales acentuado. Ou seja, para os sistema aderente/adesivo analisado as microrugosidades são mais efetivas que as macrorugosidades. De fato, o ataque 10N, 60 segundos, foi aquele que produziu uma superfície com menor rugosidade e grande uniformidade, com uma diferença de rugosidade entre as direções transversal e longitudinal à direção de laminação < 4%. Estes resultados indicam que o adesivo epoxi está penetrando profundamente nas cavidades do relevo criado pelo ataque, garantindo um bom contato com o aderente e promovendo, assim, uma boa fixação mecânica. A existência de um bom contato entre o adesivo e o aderente é considerada na bibliografia como essencial para promover uma melhor adesão[8,12].

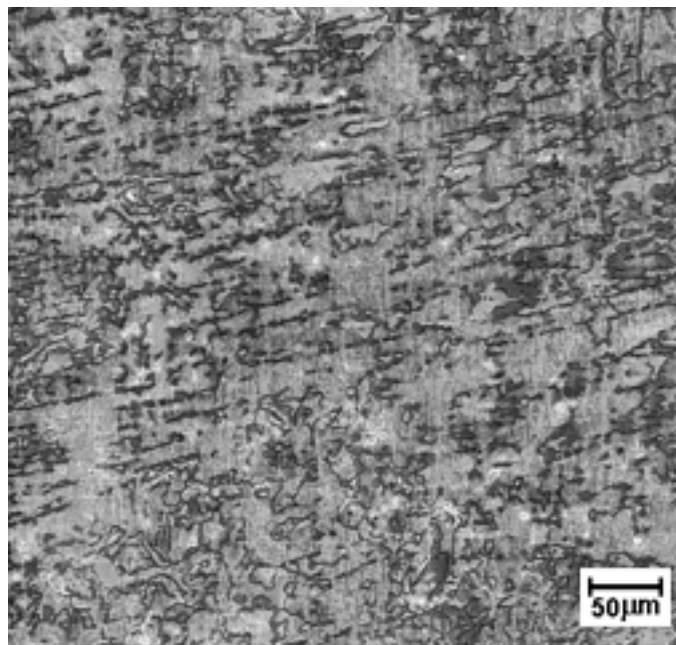


Figura 2 – Estrutura de vazios criado pelo ataque químico na superfície da chapa de aço IF.  
Ataque nital 10%, 60 segundos.

Conforme mostrado na Tabela IV, a junta soldada apresentou os melhores resultados, tanto no que diz respeito a carga de ruptura quanto ao modo de fratura em si. Para as juntas coladas a falha ocorreu na união, ou seja, a resistência mecânica da região colada foi menor que a resistência dos substratos. Já para a junta soldada, a falha ocorreu fora da área de união, mostrando que a mesma apresenta uma comportamento superior ao dos próprios aderentes.

Tabela IV- Valores para a carga de ruptura, kg, das juntas sobrepostas simples.

Material	P (kg)
CR	93,4 ± 13,3
2N30	188,8 ± 58,6
10N60	345,7 ± 35,5
Soldado*	731,2 ± 30,1

\*: a ruptura ocorreu fora da área de união.

Os resultados obtidos para as juntas coladas foram, no entanto, bastante promissores pois a carga de ruptura da junta 10N60 atingiu cerca de 50% do valor obtido para a junta soldada, já abrindo a possibilidade do seu emprego em situações de menores requisitos mecânicos. Este resultado mostra, ainda, que existe uma larga margem para otimizar o processo de união por adesão deste aço. Atualmente estão sendo feitas considerações sobre o emprego de um adesivo mais flexível e estão sendo feitas análises quantitativas sobre a distribuição espacial e de tamanho dos vazios. Além disto, está sendo feita a identificação dos sítios preferencias onde os vazios se formam na estrutura do material como recebido.

#### 4. Conclusões

Os resultados obtidos permitem concluir que para o par aderente/adesivo formado pelo aço IF/ adesivo epoxi, a presença de microrugosidades é mais importante para a resistência da junta colada que a presença de macrorugosidades. Para o aço analisado o ataque com nital 10%, por 60 segundos foi o mais efetivo, produzindo juntas com carga de ruptura de aproximadamente 350 kg. O desempenho da junta colada em comparação com uma junta tradicional soldada foi bom, sendo este desempenho atribuído a extensa rede de vazios produzida na superfície do substrato pelo ataque químico.

Agradecimentos: Este trabalho está sendo desenvolvido no âmbito da Sub-rede Aços da Rede Metal-Mecânica do RECOPE/FINEP. Os autores agradecem o apoio financeiro.

#### Referências:

[1] M.J.Cowling, E.M.Smith, S.A.Hashin e I.E.Winkle, *Proceedings of the EVALMAT 89*, Kobe, Japão, 1989, pp.827-834.

- [2] I.E.Winkle, M.J.Cowling, S.A.Hashin e E.M.Smith, *J.of Ship Production*, **7** (1991) pp.137-152.
- [3] M.Davis e D.Bond, *Int.J.Adhesion and Adhesives*, **19** (1999) pp.91-105.
- [4] J.Shields, *Adhesive Bonding*, Oxford University Press, Oxford (1974).
- [5] R.P.Digby e D.E.Packham, *Int.J.Adhesion and Adhesives*, **15** (1995) pp.61-71.
- [6] G.W.Critchlow e D.M.Brewis, *Int.J.Adhesion and Adhesives*, **15** (1995) pp.173-176.
- [7] J.E.R.Icasuriaga, E.M.Sampaio, J.R.M.d'Almeida e F.L.Bastian, *Anais do 13<sup>o</sup> CBECIMAT*, Curitiba, (1998), pp.4280-4285.
- [8] K.W.Allen, *Int. J. Adhesion and Adhesives*, **13** (1993) pp.67-72.
- [9] G.W.Critchlow e D.M.Brewis, *Int.J.Adhesion and Adhesives*, **15** (1995) pp.173-176.
- [10] J.R. Fekekte, D.C. Strugala e Z. Yao, *JOM*, **44** (1992) pp17-21.
- [11] *Dow Epoxy Resins in Glass-Reinforced Plastics*, Dow Chemical Company, Midland, Michigan (1989).
- [12] A.V.Pocius, *Adhesion and Adhesives Technology, An Introduction*, Hanser Publishers, Munich (1997).

Abstract: Joints made by adhesive bonding are being increasingly employed in industrial applications, substituting conventional joining techniques such as welding. The use of adhesive in metal-to-metal bonding has the advantage of not requiring a high heat input. The formation of a heat-affected zone is therefore avoided and the microstructure of the base metal remains unaltered. The quality of an adhesive bonded joint, however, depends on numerous factors, substrate surface preparation being one of the most important. This paper presents a study of the influence of chemical surface treatments of an interstitial free (IF) steel on the variation of rupture load for simple overlap joints. The surface roughness was determined by scanning electron microscopy and the joints were made using commercially available epoxy resin adhesive. The experimental results quantify the correlation between the level of surface roughness and joint strength. The rupture load values obtained were compared with laser welded joints, indicating a good performance for the adhesive bonded joint for stress up to 350kg.

Key-words: adhesion, surface treatment, single lap joints, mechanical behavior.