

A METALOGRAFIA DE UM AÇO INOXIDÁVEL DUPLEX ⁽¹⁾

Ivaldo Assis do Nascimento ⁽²⁾

André Luis de Brito Baptista ⁽³⁾

Resumo

Através da análise metalográfica de um componente mecânico pode-se conhecer para um dado material, de composição química conhecida ou estimada a morfologia e distribuição das fases presentes que dão indicativos seguros do histórico térmico e mecânico sofrido pelo componente. A simples micrografia pode dizer se o material é fundido, forjado ou laminado; se sofreu tratamentos térmicos ou soldagem; se foi superaquecido; ou mesmo se é resistente à corrosão ou ao desgaste. Os aços inoxidáveis duplex ocupam posição de destaque ao lado dos inox austeníticos, ferríticos, martensíticos e endurecíveis por precipitação. Seu campo de aplicação é onde existe elevadas solicitações de resistência à corrosão química e/ou por desgaste e solicitações mecânicas. São usados em uma variada gama de indústrias, particularmente de óleo e gás, petroquímicas, papel e celulose, e indústrias de controle de poluição. São comumente utilizados em ambientes aquosos contendo cloretos, ou como substituto de aços que estejam sendo atacados por corrosão sob tensão ou piting durante serviço. São empregados em tubulações de trocadores de calor, tanques para produtos químicos, vasos de reatores químicos, sistemas de manuseio de ácidos acético e fosfórico, aquecedores de água domésticos, sistemas de combate a incêndio, separadores de água e gás, equipamentos para evaporação de sal, plantas de desalinização, peças fundidas, implantes cirúrgicos, etc.

Palavras-chave : Inox; Duplex; Metalografia

¹ Trabalho Apresentado ao 60º Congresso Anual da ABM – Belo Horizonte, 25 a 28 de Julho de 2005

² Engº Mecânico, Diretor Técnico da Spectru Ltda Instrumental Científico

³ Técnico Industrial Metalúrgico, Técnico de Ensino e Pesquisa da EEIMVR/UFF , Técnico de Suporte em Análise de Materiais da Spectru Ltda

1. INTRODUÇÃO

A metalografia é um ensaio realizado nos materiais metálicos, abordando a sua textura que em geral é realizado em uma seção previamente preparada e atacada adequadamente por um reagente químico. Consiste, unicamente, na análise e interpretação do aspecto da seção. A precisão do resultado está condicionado não só ao conhecimento da microestrutura, como também à uma boa técnica no preparo e no ataque do corpo de prova.

O preparo do corpo de prova deve ser realizado com todo cuidado para a exata execução do ensaio e evitar a introdução de defeitos que dificultariam a correta interpretação. Apesar da realização relativamente simples, requer muita prática e habilidade, pois muitas dificuldades podem aparecer durante a manipulação. Assim o preparo de uma micrografia segue uma seqüência de operações como; escolha e localização da seção de estudo; execução do corte da seção plana, embutimento, lixamento e polimento; lavagem, secagem, ataque e observação ao microscópio.

A superfície metálica polida, exposta e sob a ação de um reativo, pode apresentar, quase sempre, aspectos diversos em virtude das heterogeneidades reagirem diferentemente e dos defeitos serem atacados. Assim, as diferenças cristalinas e mecânicas, são evidenciadas em virtude da dissolução seletiva, ou da coloração seletiva do ataque, ou da deposição seletiva dos produtos das reações. O reativo, também, põe em evidência, por corrosão, defeitos que eram imperceptíveis^[1].

O aspecto da textura é devido então às diferentes intensidades de reflexão da luz, pois as regiões menos afetadas pelo reativo refletem a luz sobre o olho do observador com maior intensidade do que as outras, coloridas ou recobertas de produtos das reações ou menos corroídas, que dispersam ou absorvem em maior ou menor intensidade. A maior nitidez é alcançada para um determinado ângulo incidente da luz^[1].

O microataque pode ser realizado por imersão e aplicação. Inúmeros são os reativos utilizados na microscopia, todavia a escolha de um deles é baseada na composição, nas fases e nos constituintes do material do c.p. , a fim de obter-se uma nítida microestrutura.

O ataque de acordo com o tempo de duração, é dito rápido, conforme dure segundos ou poucos minutos, e lento, quando dura minutos, horas ou dias. Também é comum classificá-los quanto à profundidade, em superficial e profundo, e quanto à temperatura, em a frio e a quente, conforme seja realizado à temperatura ambiente ou acima desta.

O tempo de ataque , estando subordinado à temperatura e à composição do material e do reativo, deve ser encarado com muito cuidado, pois tempo insuficiente proporcionará textura fraca, pouco visível e sem detalhes, em excesso dará textura ofuscada e até deturpada.

O ataque é interrompido com jorro de água e álcool sobre a superfície e em seguida faz-se a secagem da amostra.

O perfeito ataque é o que acarreta uma nítida microtextura, intrinsecamente característica do corpo de prova.

O resultado do ensaio restringe-se à particular seção analisada e não representa todo o CP, pois os materiais metálicos, devido ao natural processo de fabricação, não são homogêneos. Os dados fornecidos pelos ensaios químicos e

mecânicos são considerados também valores médios representativos da região de onde se extraiu a amostra.

Muito embora encare somente a seção em estudo, ensaios realizados em seções selecionadas conduzem à preciosas informações que proporciona ao analista, decidir sobre a serventia ou não do material, as causas do fracasso das peças em serviço, os processos de fabricação das peças, o modo pelo qual o material adquiriu as propriedades, etc. É, também, de considerável valor no controle da fabricação, evitando-se peças defeituosas ou de má qualidade pela interrupção da sua fabricação e conseqüente refugo ^[1].

A microscopia começa sua história quando em 1664, Henry Power, apresenta resultados de defeitos em superfícies polidas, observadas ao microscópio e seu efeito sobre as propriedades. Em 1795, George Pearson, estuda as estruturas das espadas de Damasco. Em 1802, A. Widmanstätten, ao observar os meteoritos registra a estrutura de grãos de ferro de forma geométricas características, o que promove grande interesse pelo conhecimento da estrutura dos metais. Em 1820, M. Faraday; Préal e Belaiew, realizaram estudos em antigas armas, considerando com grande intuição que a textura das mesmas era resultante da destruição e estiramento por martelagem da estrutura cristalina inicial. Em 1831 a micrografia é pela primeira vez proposta pelo cientista P. Anosov . Em 1863, A. C. Sorby, dá início a metalografia empregando o microscópio na observação de superfícies metálicas polidas. Em 1885, J. A. Brinell, através dos seus estudos, começa a reconhecer-se o interesse da metalografia. Em 1887, as observações micrográficas passam a poder registrar-se fotograficamente. Observa-se a estrutura cristalina diretamente. Em 1903, F. Osmond, consagra os nomes dos constituintes do aço e em 1943, J. H. Vialle, realiza o primeiro estudo sistemático da influência da microestrutura sobre as propriedades mecânicas do aço ^[2].

O ensaio microscópico, usando aumentos adequados, fornece informações particulares sobre a natureza, tamanho, forma, quantidade e distribuição dos constituintes, fases e inclusões, granulação e defeitos, que induzem, a tirar conclusões sobre as características, causas prováveis da fratura e utilização dos materiais.

A combinação favorável de propriedades dos aços inox duplex é função direta da sua microestrutura, sendo assim necessário uma perfeita visualização do material em estudo.

2. MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES ^[3]

Os inoxidáveis ferríticos-austeníticos apresentam uma combinação interessante de propriedades : limite de escoamento cerca de o dobro do limite de escoamento dos inoxidáveis austeníticos e ferríticos comuns, maior plasticidade que a dos inoxidáveis martensíticos e que a dos inoxidáveis endurecíveis por precipitação, excelente resistência à corrosão intergranular, resistência à corrosão localizada e resistência à corrosão sob tensão.

Esses aços se solidificam com estrutura ferrítica e a austenita forma-se no estado sólido. Durante a deformação a quente (entre 1200 e 900°C) desenvolve-se uma microestrutura com lamelas alternadas de ferrita e austenita. O fato da energia de interface α / γ ser mais baixa que as energias dos contornos de grãos α/α e γ/γ facilita a formação da microestrutura lamelar. As frações volumétricas de austenita e de ferrita são aproximadamente iguais e a proporção ferrita/austenita pouco pode ser modificada por tratamentos térmicos abaixo de 1000°C. A ferrita é endurecida

por solução sólida pela partição preferencial de Cr, Mo, Si e a austenita é estabilizada e endurecida principalmente pelo nitrogênio.

Esses aços são susceptíveis à fragilização causada pela precipitação de fase σ (principalmente na ferrita) e de fase α' (fragilidade de 475°C da ferrita). Isto dificulta a utilização desses aços na faixa de 350 à 900°C.

A resistência à corrosão destes aços é excelente em meios contendo ácidos orgânicos e inorgânicos (oxidantes), assim como em água de refrigeração contendo íons Cl^- . Apresentam também excelente resistência à corrosão sob tensão nesses meios. A adição de cobre amplia sua resistência à corrosão em meios sulfurosos e fosforosos. Esse tipo de aço apresenta soldabilidade necessária para as aplicações na indústria química.

3. METALOGRAFIA ^[4, 5]

Os procedimentos usados para preparar espécimens para exame microestrutural são basicamente os mesmos que os usados para ligas ferro-carbono ou aços-ferramenta. Entretanto, existem algumas precauções especiais que devem ser observadas para evitar o desenvolvimento de “ estruturas artefatos” (novas). Como, por exemplo, os aços podem ou vão encruar rapidamente, então o corte e o desgate devem ser feitos cuidadosamente; aparecimento de martensita induzida por deformação, ademais, a estabilidade da martensita varia, e pode desenvolver tensões internas por preparação imprópria. Os aços de alto carbono e alta dureza, contém quantidades substanciais de carbeto não dissolvidos. Estes tipos são difíceis de serem polidos sem que se produza liberação excessiva, quebra de carbeto e arrancamento de carbeto. Os aços inoxidáveis em geral são bem difíceis de se polir sem riscar, devido à sua alta resistência à corrosão inerente e variedade potencial de constituintes de segunda fase

Aços inoxidáveis de baixa dureza podem ser cortados com serra de fita ou serra manual. Entretanto, estes procedimentos introduzem deformações substanciais que deveriam a princípio serem evitadas. Uma serra de disco abrasiva, usando um grau de aglomeração apropriado, é usualmente preferido para a maioria dos trabalhos. Entretanto a pressão aplicada deve ser baixa e deve ser mantida uma refrigeração adequada para evitar aquecimento excessivo.

Embutimento é um passo opcional que depende do tamanho e da forma do espécimen, da retenção do contorno ou dos requisitos das máquinas de polimento e lixamento usadas. Se a retenção da superfície é desejada ou se reagentes quentes serão usados, resinas de embutimento a pressão do tipo epoxi são preferidas. Se ataque eletrolítico for usado, espécimens não embutidas são preferidas. Se o espécimen estiver embutido, uma sonda pode ser usada para contactar a superfície ou uma parte do material pode ser cortada e então uma pinça pode ser conectada a uma extremidade do espécimen. Outros procedimentos para contato elétrico podem ser usados.

O lixamento é feito com lixas de papel com carbeto de silício refrigeradas à água de tamanho 120, 240, 320, 400 à 600, podendo chegar até 800, 1000 e 1200. Os procedimentos usuais para obtenção de padrões de lixamento em todas as direções ou em direções alternantes devem ser usados. Excessiva pressão aplicada e refrigeração inadequada devem ser evitadas. Cada passo deve ser executado adequadamente, desta forma a deformação e os danos da etapa anterior são removidos.

O polimento é usualmente feito em duas ou mais etapas, começando com polimento grosso com abrasivos de diamante de 6 ou 3 microns (pasta, spray ou emulsão) e pano de polimento com nível baixo ou médio de fiapos. Um lubrificante, compatível com o abrasivo de diamante deve ser usado para umedecer o pano de polimento melhorando a remoção e reduzindo os riscos. Velocidades angulares de 150 – 300 rpm são empregadas com pressão moderada ou firme. Assim como no lixamento, movimento em todas as direções devem ser usado. Muitos metalografistas preferem seguir esta etapa como polimento grosso usando abrasivo de diamante de 1 micron e o acabamento é geralmente adequado. Naturalmente os espécimens devem ser limpos adequadamente após cada passo de lixamento ou polimento.

Para obter alta qualidade, superfícies sem marcas para fotomicrografia, passos adicionais são necessários. Tradicionalmente, têm sido usados para polimento final emulsões com alumina α 0,3 microns ou alumina γ de 0,05 microns com panos de polimento com nível médio de pelos. A sílica coloidal é também altamente satisfatória para polimento final.

Após os lixamentos e polimentos em geral recomenda-se uma limpeza ultrasônica durante 4 à 6 minutos e lavagem com acetona ou álcool etílico e secagem com ar quente.

Polimento eletrolítico pode ser utilizado com vários aços inoxidáveis. Entretanto, o eletropolimento vai circundar contornos de grãos e trincas, atacar partículas de segunda fase e inclusões, pode causar corrosão localizada em pontos (pitting) e pode produzir uma superfície ondulada.

Retificações e polimentos mecânicos podem ser realizados manualmente ou automaticamente. Para este último, uma grande variedade de aparelhos são disponíveis. O polimento automático tem se tornado popular, como o tédio associado ao polimento manual vem sendo eliminado, e resultados superiores podem ser obtidos em quase todos os casos.

A gravação (ataques) deve ser feita após um exame da amostra “as-polished”. Exames para inclusões, certos constituintes das fases secundárias, fissuras, marcas na superfície, e assim por diante, são melhor reveladas antes da gravação. Os detalhes da gravação produzem informações adicionais que tornam mais difícil enxergar estas características claramente.

Devido às diferentes fases e matrizes que podem estar presentes, a excelente resistência a corrosão, e a potencial complexidade microestrutural, um enorme número de corrosivos foram desenvolvidos para os aços inoxidáveis. Isto faz da operação de avaliação e determinação do corrosivo ótimo, para uma dada liga e condições de trabalho, uma tarefa de paciência.

Devido a formação de uma película de óxido muito fina na superfície da amostra polida recentemente haverá influência na reação caustica, as amostras devem ser cuidadosamente limpas e completamente secas, particularmente se forem usados corrosivos isentos de água. Corrosivos químicos que produzem ataques gerais na fase matriz são muito usados porque podem ser aplicados simplesmente pela esfregação ou imersão.

Normalmente é preferida a esfregação para aquelas metais que tendem a formar uma fina carepa após o polimento (ex.: aços inoxidáveis). A esfregação deve ser feita com algodão do tipo cirúrgico, e não com algodão do tipo cosmético.

Identificar fases ou constituintes em metais e ligas é uma tarefa comum em metalografia. Os metalografos podem frequentemente predizer quais as prováveis fases que estão presentes em uma determinada liga, conhecendo sua composição

química, histórico de processamento, informações em publicações anteriores sobre suas características, ou pelo diagrama de fases referente a liga. Muitas técnicas podem ser utilizadas para obter uma descrição qualitativa da microestrutura de materiais. Os ataques convencionais que delineiam as fases são geralmente adequados, mas os erros são possíveis e normais de ocorrerem.

As fases são identificadas por meios conhecidos como diferenças na composição química, estrutura cristalina, reflectância óptica, morfologia, ou comportamento corrosivo. Essas informações podem ser obtidas por meios de sistemas comuns. Em algumas circunstâncias, a identificação da fase pode ser auxiliada pela diferença na quantidade de constituintes ou sua morfologia. Algumas fases de liga na condição polida podem ser detectadas fidedignamente por diferenças na reflectância.

Muitos metalografos que não tem acesso ao raio-x e instrumentos de metalografia eletrônica para a rotina de trabalho, podem utilizar ataques com reagentes específicos para indentificação de uma fase, exceto no caso de partículas muito finas. O uso de ataque seletivo é inestimável em metalografia quantitativa, um campo de grande importância.

O sucesso no uso de reagentes (soluções de ataque) requer controle do desenrolar da ação corrosiva entre áreas de diferentes potenciais eletroquímicos. O ataque é resultado da ação eletrolítica nos constituintes, causado por diferenças químicas ou físicas na superfície da amostra. Dentro das condições impostas, essas variações causarão áreas anódicas e catódicas. O contraste entre constituintes similares pode ocorrer como um resultado da variação da taxa de ataque produzidos pelas diferenças de orientação cristalográfica. Quando mais que uma fase está presente, um reagente pode atacar uma fase preferencialmente, produzindo com isso diferenças planos óticos (elevações) entre os constituintes. Se este ataque é uniforme, pequena diferença de reflectância será notada entre os constiuintes, mas os contornos de fase serão visíveis.

Em uma liga de duas fases, uma fase terá um potencial maior que a outra fase, isto é, ela é anódica em relação a outra fase que é catódica, em um ataque em particular. A fase mais eletropositiva (anodo) é atacada e corroída escurecendo, enquanto a fase eletronegativa (catodo) é atacada superficialmente (ou apenas o contorno) ou não é atacada.

Considerável progresso tem sido feito no desenvolvimento de soluções por imersão simples que produz contraste de cor seletivo pela formação de filme. Os reagente, geralmente referido como matriz ou padrão de ataque, são usualmente soluções ácidas dissolvidas em água ou álcool. Elas são quimicamente balanceadas para depositar uma camada de (40 a 500 nm) de filme de óxido, sulfeto, molibdato complexo, selênio, ou cromato na superfície da amostra. A coloração é desenvolvida pela interferência entre raios de luz refletidos da superfície do filme da camada mais interna e/ou da camada mais externa.

A amostra é imersa em uma quantidade de reagente por um tempo recomendado (não necessariamente igual para todas as amostras), usualmente longo para produzir uma cor violeta ou azul macroscópica. Depois de atacada, não se deve tocar a superfície da amostra. O polimento feito anteriormente deve ser de alta qualidade para obter os melhores resultados.

Quando executada com sucesso, o ataque resultante pode ser notavelmente bonito bem como tecnicamente valioso, visto que nos aços em geral, as propriedades mecânicas dependem da anisotropia cristalográfica e da função de distribuição de orientações dos grãos no material. Nos aços duplex, as propriedades

mecânicas macroscópicas tais como, limite de escoamento e limite de resistência, dependem da orientação das duas fases (austenita e ferrita). Além disso, a morfologia e a distribuição das fases contribuem para o resultado final ^[6].

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a preparação das amostras seguiu-se a norma ASTM E 3-80, para os ataques utilizamos a norma ASTM E 407-70 e para as fotomicrografias ASTM E 883-86. O material utilizado foi um aço duplex UNS S31803, cuja composição química e propriedades mecânicas são apresentadas na Tabela I.

Tabela I - Composição Química e Propriedades Mecânicas do Aço Inox Duplex

Composição Química (%)							
%C	%Cr	%Ni	%Mo	%Mn	%N	%P	%S
0,032	22,380	5,320	2,550	1,480	0,1123	0,029	0,003
Propriedades Mecânicas							
0,2% L. E. (MPa)		L. R. (MPa)			Alongamento (%)		
450		750			25		

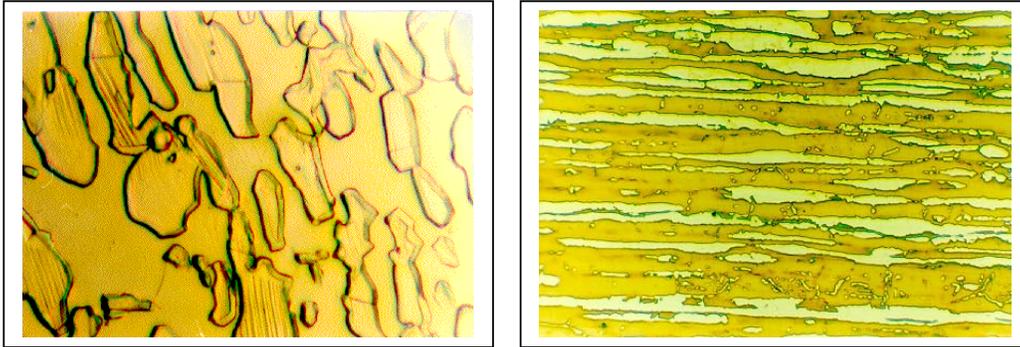
As amostras foram lixadas à úmido com papel de carbetto de silício granas 320, 500, 800, 1000 e 1200. Após cada lixa fazia-se uma limpeza em cuba ultrasônica durante 4 minutos, as amostras imersas em acetona. Para o polimento utilizou-se pasta de diamante 9, 6, 3 e 1 micron, como lubrificante empregou-se álcool etílico. Os ataques testados estão relacionados na Tabela II, os reagentes a frio foram testados por imersão e fricção. Depois de atacadas as amostras eram lavadas com água à 50°C, com acetona e secas com ar quente forçado.

Tabela II - Reagentes utilizados

Reagente / Composição		
(1) 20 ml Ácido Sulfúrico 20 ml Água destilada 4 g CuSO ₄	(2) 1 g Ácido Pírico 5 ml de Ácido Clorídrico 2 ml de Ácido Fluorídrico 2 ml de Ácido Sulfúrico 100 ml de Etanol	(3) 10 ml de glicerina 15 ml de Ácido Clorídrico 5 ml de Ácido Nítrico
(4) 10g Ferricianeto de Potássio 10g Hidróxido de Sódio 100 ml Água destilada 95° C 3 à 5 minutos	(5) 10 g Ácido Oxálico 200 ml Água destilada 6 volts 2 minutos	

5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As micrografias apresentadas na Figura 1 (a) e (b), são o resultado dos ataques julgados mais satisfatórios, que são respectivamente o método de revelação eletrolítica (reagente 5) e coloração química (reagente 4). Os demais ataques não apresentaram resultado perfeito para a finalidade do trabalho, porém a microestrutura se torna visível do mesmo modo.



(a) ataque eletrolítico 500 x

(b) ataque colorido 200x

Fig. 1 - Fotomicrografias do material em estudo

O ataque eletrolítico revelou bem os contornos ou limites entre as fases, porém não diferenciou as mesmas. Este efeito primário (revelar os contornos) é de extrema valia, levando-se em conta que um dos fatores que contribuem para que o limite de escoamento dos aços duplex seja superior a dos aços inox ferríticos e austeníticos, esta no tamanho de grão das fases α e γ que é normalmente menor proporcionando um efeito endurecedor maior [7].

Os aços podem ter as suas microestruturas modificadas significativamente por alterações químicas ou procedimentos operacionais, estabilizando um ou outro tipo de empacotamento cristalino. As propriedades mecânicas são também influenciadas pela anisotropia da microestrutura [8].

A ferrita basicamente determina o comportamento do aço duplex a tração, influenciando no limite de escoamento e na taxa de encruamento; a austenita influencia diretamente no limite de resistência [7].

O ataque colorido identifica as fases presentes permitindo a avaliação quantitativa e uma melhor análise qualitativa, a microestrutura que é mostrada tem uma grande importância, já que as boas propriedades mecânicas e de resistência à corrosão estão intimamente relacionadas com a variação da proporção volumétrica das fases austenite e ferrita [5].

6. CONCLUSÃO

A metalografia colorida desta classe de aços, é a que se apresenta como uma alternativa bem viável, considerando que são mostrados de maneira nítida; tanto os microconstituintes presentes, sua morfologia bem como sua quantidade, permitindo assim uma boa correlação com as propriedades requeridas.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] MONTEIRO, E. P. – Propriedades e Ensaio dos Materiais. EEIMVR/UFF, 1972.
- [2] SEABRA, A. V. – Metalurgia Geral, vol. 1 , L. A. E. C. , Lisboa, 1981.
- [3] POHL, M. e PADILHA, A. F. – Aços Inoxidáveis Ferríticos – Austeníticos com Microestrutura Duplex. Revista Nickel, Setembro, 1988, Ano III nº 8.
- [4] MORAES, G. A. – Metalografia de Aços Inoxidáveis, EEIMVR/UFF, 1999.
- [5] PAULA, A. S. et all – A Metalografia Colorida de Aços. In.: 54º Congresso da ABM, São Paulo, 25 a 29 de Julho de 1999.
- [6] LIMA, N. B. et all – Textura de deformação e de recristalização em chapas de aço inoxidável duplex. In.: 49º Cong. ABM , São Paulo, outubro de 1994.
- [7] BRANDI, S. D. e PADILHA, A. F. – Avaliação da eficiência de junta do aço inoxidável duplex DIN W.Nr.14462 (UNS S 31803) soldado autogenamente pelos processos TIG e feixe de elétrons. In.: 49º Cong. ABM , São Paulo, outubro de 1994.
- [8] HOFFMAN, W. A. M. e BALANCIN, O. – Trabalhabilidade a quente de uma aço inoxidável duplex. In.: 49º Cong. ABM , São Paulo, outubro de 1994.

METALOGRAPHY OF DUPLEX STAINLESS STEEL

*Ivaldo Assis do Nascimento
André Luis de Brito Baptista*

Abstract

Metallographical analysis of a mechanical component allows us to know the morphology and distribution of stages present in a given material, of known or estimated chemical composition. These give us safe indication as to the thermic and mechanical history of the component. Simple micrography can tell if the material is cast, wrought or laminated; if it has undergone thermic treatment or soldering; if it has been overheated, or even if it is resistant to corrosion or wastage. Duplex stainless steel of several kinds occupy prominent position next to austenitic, ferritic, martensitic and those types of stainless hardener by precipitation. They are used mostly where there are high needs of resistance to chemical corrosion and/ or by wastage and mechanical needs. They are used in a wide range of industries, specially oil and gas, petrochemical, paper and cellulose, as well as pollution control industries. They are largely used in watery environments including chlorates, or as a substitute to other types of steel that are being attacked by corrosion under tension or pitting during service. They are used in pipelines of heat exchangers, tanks for chemical products, jars of chemical reactors, handling systems of aseptic and phosphoric acids, domestic water heaters, fire fighting systems, water and gas separators, salt evaporation equipment, desalinization plants, cast pieces, surgical implants, etc.