

Resumo

O objecto deste trabalho é a análise da influência da precipitação de fase σ na resistência à corrosão e nas propriedades mecânicas de um aço vazado inoxidável duplex GX2CrNiMoCuN25-6-3-3.

Esta é uma matéria de elevada relevância no estudo dos duplex no sentido de prever a ocorrência desta fase em operações que exponham o material à gama de temperaturas à qual se dá a sua formação, como por exemplo no processo de soldadura e compreender melhor o efeito da sua presença no comportamento do material. É conhecido o seu carácter, em geral, nefasto na resistência à corrosão por picadas e mecânica dos duplex.

Para desenvolver este estudo promoveu-se a precipitação de fase σ sobre material sujeito a tratamento térmico de solubilização a 1075°C, através da aplicação de estágios isotérmicos no intervalo de temperaturas entre 600 e 1000°C com duração entre 2,5 minutos e 4 horas e posterior arrefecimento em água.

Sobre as amostras submetidas aos tratamentos térmicos indicados aplicaram-se os procedimentos descritos nas normas ASTM A923-A para detecção de fases intermetálicas por observação microestrutural; ASTM G48-A (ensaio de imersão em FeCl_3) e G61 (ensaio de polarização cíclica em água do mar sintética) para a avaliação de resistência à corrosão por picada.

Os resultados obtidos permitem afirmar que a gama de temperatura crítica para a formação de fase σ neste duplex se encontra entre 800 e 900°C; a estas temperaturas a precipitação desta fase dá-se para tempos muito curtos de estágio nomeadamente, 2,5 e 5 minutos.

O procedimento da norma ASTM G61 revelou-se menos sensível à presença de fase σ do que o procedimento da norma G48; os resultados obtidos através dos ensaios potenciodinâmicos apresentam uma degradação da resistência à corrosão do material demonstrada pela diminuição acentuada dos valores do potencial de picada em simultâneo com um aumento significativo da área do ciclo de histerese para o estágio a 800°C durante mais de uma hora; os resultados obtidos por imersão das amostras em FeCl_3 indicam uma degradação da resistência à corrosão por picadas para todas as amostras com excepção da submetida a estágio isotérmico a 800°C durante 2,5 minutos.

A avaliação das propriedades mecânicas foi efectuada através de ensaios mecânicos de durezas, de tracção e de choque – Charpy; este último revelou-se mais sensível à presença de

fase σ no material do que os restantes. Observa-se o decréscimo da resistência ao choque do material com o aumento da quantidade de fase σ precipitada a 900°C; nas amostras submetidas a estágios a 800°C esta propriedade mantém-se constante para todos os tempos de estágio até 17 minutos; para o estágio de 65 minutos verifica-se uma queda acentuada dos valores obtidos.

A par desta investigação, é também apreciada a alteração microestrutural provocada num aço inoxidável duplex de fundição por variações da temperatura de solubilização entre 1050 e 1400°C. O recozimento realizado à temperatura próxima da temperatura de *solidus* da liga teve um único estágio de duas horas com arrefecimento em água. Os restantes tratamentos foram realizados em dois estágios; o primeiro com a duração de 1h30min a 1400°C e o segundo, de 2 horas, a temperaturas compreendidas entre 1350 e 1050°C, de 50 em 50°C com posterior arrefecimento em água.

Mediu-se o teor relativo das fases e o respectivo teor de crómio e molibdénio; verificou-se que quanto menor a temperatura de solubilização menor a quantidade de ferrite presente na microestrutura do aço, atingindo-se uma relação austenite-ferrite de cerca de 50 por cento perto de 1050°C.

Os resultados obtidos para o teor relativo das fases na microestrutura confirmam o forte efeito do azoto como estabilizador da austenite.

Finalmente, desenvolveram-se estudos de avaliação da resistência à corrosão por picada, aplicando os mesmos procedimentos de ensaio acima referidos. Os resultados obtidos mostram que uma temperatura de solubilização inferior a 1200°C não exerce um efeito significativo na resistência à corrosão por picada, que se mantém elevada após solubilização neste domínio; já uma temperatura de solubilização superior a 1200°C provoca uma degradação sensível desta característica.

Palavras-chave: Aço Inoxidável Duplex; Tratamento térmico; Microestrutura; Fase σ ; Corrosão por picadas; Propriedades mecânicas.

Abstract

The present study was undertaken to analyse the effect of σ phase precipitation in corrosion resistance and in mechanical properties of a GX2CrNiMoCuN25-6-3-3 cast duplex stainless steel.

This is a relevant matter in duplex investigation in order to anticipate the formation of this detrimental phase during operations that may expose the material to critical temperatures where σ phase precipitation takes place such as joining and to recognize the result of its presence on the material performance.

To develop this work, precipitation of σ phase was promoted by isothermal heat treatments carried out between 600 and 1000°C during 2,5 minutes to 4 hours and followed by water quenching, in heat treated samples at 1075°C.

The procedure of A923-A ASTM standard was applied to detect intermetallic phases precipitation on microstructures by light microscopy observation; G48-A (immersion on FeCl₃) and G61 (cyclic polarization curves in artificial sea water) ASTM standards were employed to evaluate the susceptibility of the aged specimens to pitting corrosion.

The results showed that the critical temperature range for σ phase formation in this duplex is between 800 and 900°C; at these temperatures there was precipitation of this phase even for 2,5 or 5 minutes stages.

The procedure of G61 ASTM standard was less sensitive to σ phase presence than G48; electrochemical potentiodynamic tests showed a decay of pitting corrosion resistance in material seen by a drop of pitting potential together with an increase of hysteresis loop area for the specimen heat treated at 800°C for over an hour; the results obtained by FeCl₃ immersion tests indicated degradation of pitting corrosion resistance for all aging conditions but for the one aged at 800°C for 2,5 minutes.

Mechanical properties evaluation was carried out with hardness, tensile and impact testing; the last one was the most sensitive measure of σ phase formation. A reduction of the impact toughness was seen with the increasing amount of σ phase at 900°C; in the specimens aged at 800°C this property remained constant until 17 minutes stage; for the 65 minutes stage a significant decrease of toughness was seen.

In addition, the microstructural changes of the duplex, induced by the applied solution heat treatment were evaluated; the specimens were heat treated in a range of temperatures from 1050 to 1400°C, every 50°C for 2 hours and then cooled in water.

The volume fraction of each constitutional phase (austenite and ferrite) and the respective chromium and molybdenum content were measured; increasing the solution temperature increases the volume fraction of ferrite in the cast duplex stainless steel microstructure. An equal amount of austenite and ferrite in microstructure was obtained at temperatures around 1050°C.

The results of the volume fraction measurements showed an intense austenite stabilizing effect of the nitrogen.

Finally, pitting corrosion resistance was evaluated applying the procedures of G61 and G48 ASTM standards; solution temperatures under 1200°C didn't produce a significant effect on pitting corrosion resistance although solution temperatures higher than 1200°C caused an impressive decrease of this property.

Keywords: Duplex stainless steel; Heat treatment; Microstructure; σ phase; Pitting corrosion; Mechanical properties.