República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior
e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0209091-0 B1

(22) Data do Depósito: 18/04/2002

(45) Data de Concessão: 02/05/2017

(54) Título: PROCESSO PARA A PRODUÇÃO DE AÇOS INOXIDÁVEIS COM MELHOR RESISTÊNCIA À CORROSÃO

(51) Int.Cl.: C21D 8/00; C21D 9/00; C21D 1/09; C21D 1/26; C22C 38/44; C22C 28/00; C22C 19/05

(30) Prioridade Unionista: 24/04/2001 US 09/841,330

(73) Titular(es): ATI PROPERTIES LLC

(72) Inventor(es): JOHN F. GRUBB; JAMES D. FRITZ

"PROCESSO PARA A PRODUÇÃO DE AÇOS INOXIDÁVEIS COM MELHOR RESISTÊNCIA À CORROSÃO"

A presente invenção se refere a um processo para a produção de aços inoxidáveis de Cr-Ni-Mo com um alto grau de resistência a corrosão localizada. Mais particularmente, aços inoxidáveis produzidos pelo processo da presente invenção podem demonstrar melhor resistência a microfissurações, corrosão em fissuras e rachaduras por corrosão com tensão, tornando os aços mais adequados para vários usos, por exemplo, em ambientes contendo íons cloreto. Esses usos incluem, mas não se limitam a, tubulações de condensadores, equipamentos de plataformas marítimas, trocadores de calor, construção de invólucro e tanque para as indústrias de polpa e papel, equipamentos de processos químicos, equipamentos de fermentação, aquecedores de água de alimentação, aplicações de dessulfurização de gases queimados e uso em regiões marítimas ou costeiras, em que a liga possa estar exposta a condições atmosféricas marinhas.

DESCRIÇÃO DOS FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

Ligas de aço inoxidável possuem propriedades de resistência à corrosão genéricas, tornando-as úteis para vá-

rias aplicações em ambientes corrosivos. Exemplos de ligas de aço inoxidável resistentes à corrosão são vistas na patente norte-americana n° 4.545.826, de McCunn, e n° 4.911.886, de Pitler. A despeito da resistência à corrosão genérica das ligas de aço inoxidável, ambientes contendo íons cloreto, como água marinha e certos ambientes de processamento químico, podem ser extremamente agressivos na corrosão dessas ligas. O ataque corrosivo aparece mais comumente como microfissurações e corrosão em fissura, ambas podendo se tornar formas graves de corrosão. A microfissuração é um processo de formação localizada de pequenas cavidades em uma superfície metálica por corrosão. Essas cavidades são o resultado de corrosão localizada e tipicamente se confinam a um ponto ou pequena área. A corrosão em fissura, que pode ser considerada uma forma grave de microfissuração, é uma corrosão localizada de uma superfície metálica em, ou imediatamente adjacente a, uma área que esteja protegida contra a exposição completa ao ambiente pela superfície de outro material.

No teste e desenvolvimento de ligas desse tipo, a resistência à corrosão de uma liga pode ser prevista por sua Temperatura Crítica de Corrosão em Fissura ("CCCT"). A CCCT de uma liga é a menor temperatura em que a ocorre a corrosão em fissura em amostras da liga em um ambiente específico. A CCCT é tipicamente determinada de acordo com o Padrão ASTM G-48. Quanto maior a CCCT, maior a resistência à corrosão da liga. Assim, para ligas expostas a ambientes corrosivos mais rigorosos, é desejável que a liga possua uma CCCT tão alta quanto possível.

Ligas de aço inoxidável superaustenítica contendo cromo e molibdênio proporcionam resistência a microfissurações e a corrosão em fissura em comparação a ligas da técnica anterior. O cromo contribui para a resistência à oxidação e corrosão geral da liga. Também tem os efeitos desejados de elevar a CCCT de uma liga e promover a solubilidade do nitrogênio, cujo significado é discutido abaixo.

O níquel, um elemento comum usado em ligas de aço inoxidável, é tipicamente adicionado para fins de tornar a liga austenítica, assim como para contribuir com a resistência a rachaduras por corrosão com tensão ("SCC"). A SCC é um mecanismo de corrosão em que a combinação de uma liga suscetível, tensão de tração mantida e um ambiente particular leva a rachaduras do metal. Tipicamente, a adição de níquel e molibdênio a um aço inoxidável aumenta sua resistência à SCC, em comparação com aços inoxidáveis austeníticos padrões. Entretanto, as ligas contendo níquel e molibdênio não são totalmente imunes a SCC.

O molibdênio pode ser adicionado a uma liga de aço inoxidável para aumentar a resistência da liga a microfissurações e à corrosão em fissura causada por íons cloreto. Infelizmente, o molibdênio pode se segregar durante a solidificação, resultando na concentração de apenas dois terços do teor de molibdênio médio da liga em núcleos dendríticos. Durante a fundição do metal, o excesso de molibdênio é segregado no metal líquido adiante da frente de solidificação, resultando na formação de uma ou mais fases eutéticas dentro da liga. Em um produto de fundição contínua, por exemplo,

essa fase eutética é freqüentemente formada na ou próximo à linha central da chapa. Em muitas ligas resistentes à corrosão austeníticas, a eutética é composto por fases ferrítica (solução de Fe-Cr cúbica centralizada no corpo (BCC)), além de austenítica (solução de Fe-Ni-Cr cúbica centralizada na face (FCC)). Para certas composições de ligas utilizáveis com relação à presente invenção, observou-se que a eutética era composto por austenita mais fases intermetálicas. A fase intermetálica é tipicamente uma fase sigma, qui ou Laves. Embora as fases sigma e que tenham diferentes estruturas, podem ter composições similares, dependendo das condições de formação da fase intermetálica. Essas fases intermetálicas, assim como outras fases eutéticas, podem comprometer a resistência à corrosão da liga.

O nitrogênio pode ser tipicamente adicionado a uma liga para suprimir o desenvolvimento de fases sigma e qui, contribuindo, dessa forma, para a microestrutura austenítica da liga e promovendo valores de CCCT mais elevados. Entretanto, o teor de nitrogênio tem de ser mantido baixo, para evitar porosidade na liga e problemas durante o trabalho a quente. O nitrogênio também contribui para uma maior resistência da liga, assim como uma melhor resistência à microfissuração e à corrosão em fissura.

Tipicamente, a capacidade de uma liga de resistir ao ataque corrosivo localizado é crítica em muitas aplicações industriais. Assim, existe necessidade de um processo para produzir aços inoxidáveis que proporcionem melhor resistência a microfissurações e a corrosão em fissura. Mais

particularmente, existe necessidade de um processo para produzir aços inoxidáveis que proporcionem melhor resistência a microfissurações e a corrosão em fissura a temperaturas mais elevadas, conforme indicado, por exemplo, pela CCCT.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

A presente invenção atende às necessidades acima descritas fornecendo um processo para a produção de aços inoxidáveis de Cr-Ni-Mo com melhor resistência à corrosão. Em uma forma, o processo inclui a formação de um artigo de aço inoxidável incluindo cromo, níquel e molibdênio e com um PRE_N maior que ou igual a 50, e refusão de pelo menos uma parte do artigo para homogeneizar a parte. Como exemplos, uma parte, como uma região de superfície do artigo, pode ser refundida, ou todo o artigo pode ser refundido para homogeneizar o artigo ou a parte refundida. Conforme aqui usado, o PRE_N é calculado pela equação $PRE_N = Cr + (3,3 \times Mo) + (30 \times N)$, em que Cr representa a porcentagem em peso de cromo na liga, Mo representa a porcentagem em peso de molibdênio na liga, e N representa a porcentagem em peso de nitrogênio na liga. Em uma modalidade do processo, o aço inoxidável de Cr-Ni-Mo compreende, em peso, de 17 a 40% de níquel, de 14 a 22% de cromo, de 6 a 12% de molibdênio, e de 0,15 a 0,50% de nitrogênio.

A presente invenção também atende às necessidades acima descritas fornecendo um processo para a produção desses aços inoxidáveis resistentes à corrosão, em que um material em fusão de aço inoxidável incluindo cromo, níquel e molibdênio e com um PRE_N maior que ou igual a 50 (calculado

pela equação acima) é fundida em um lingote, chapa ou outro artigo, e é subseqüentemente recozida durante um período prolongado. O tratamento de recozimento pode ser conduzido antes do ou subseqüentemente ao trabalho a quente, e é realizado a uma temperatura e durante um tempo suficientes para aumentar a homogeneidade do (isto é, "homogeneizar o") aço inoxidável. Em uma modalidade do processo, o aço inoxidável compreende, em peso, de 17 a 40% de níquel, de 14 a 22% de cromo, de 6 a 12% de molibdênio, e de 0,15 a 0,50% de nitrogênio.

Os inventores determinaram que o processo da presente invenção aumenta significativamente a Temperatura Crítica de Corrosão em Fissura (CCCT) de aços inoxidáveis de Cr-Ni-Mo produzidos pelo processo, sem os custos aumentados de adições de liga. Além disso, o processo da presente invenção aumenta a resistência à corrosão, sem os efeitos sobre as operações de fabricação associados ao processamento de materiais de maior aliagem.

A presente invenção também se refere a aços inoxidáveis de Cr-Ni-Mo resistentes à corrosão produzidos pelo processo da presente invenção, e a artigos formados por ou incluindo esses aços. Esses artigos incluem, por exemplo, placas e folhas.

O leitor perceberá os detalhes e vantagens precedentes da presente invenção, assim como outros, ao considerar a descrição detalhada a seguir de modalidades da invenção. O leitor também pode compreender detalhes e vantagens adicionais da presente invenção ao executar e/ou usar o pro-

cesso e/ou os aços inoxidáveis da presente invenção.

BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

A Figura 1 é um diagrama das fases a alta temperatura em uma liga, mostrando o efeito da temperatura sobre a homogeneidade da liga, com base na temperatura de solubilidade máxima do molibdênio.

A Figura 2 é um gráficos de barras comparando os valores de CCCT obtidos dos resultados de um teste de corrosão em fissura ASTM G-48 Prática B modificado, executado com (i) um aço inoxidável não homogeneizado com um PRE_N igual a ou maior que 50 produzido por um processo da técnica anterior, (ii) um aço inoxidável de Cr-Ni-Mo com um PRE_N igual a ou maior que 50 produzido por um processo da técnica anterior e processado por ESR, e (iii) um aço inoxidável de Cr-Ni-Mo com um PRE_N igual a ou maior que 50 produzido por um processo da técnica anterior e recozido a 1.177°C (2.150°F) durante cerca de duas horas.

A Figura 3 é um gráfico barras comparando os valores de CCCT obtidos dos resultados de um teste de corrosão em fissura ASTM G-48 Prática D modificado, executado com (i) um aço inoxidável de Cr-Ni-Mo não homogeneizado com um PRE_N igual a ou maior que 50 produzido por um processo da técnica anterior, e (ii) um aço inoxidável de Cr-Ni-Mo com um PRE_N igual a ou maior que 50 produzido por um processo da técnica anterior e recozido a 1.177°C (2.150°F) durante cerca de duas horas.

DESCRIÇÃO DETALHADA DE MODALIDADES DA INVENÇÃO

Um processo para a produção de um artigo resistente à corrosão exibindo resistência a microfissurações e a corrosão em fissura seria altamente vantajoso. A presente invenção se refere a um processo para a produção de um artigo com uma liga de aço inoxidável de Cr-Ni-Mo homogênea, com um alto grau de resistência à corrosão. As propriedades de resistência à corrosão únicas vistas na presente exposição podem ser produzidas pela combinação de (i) preparação de um material em fusão de aço inoxidável de Cr-Ni-Mo com um número de Equivalentes de Resistência a Microfissuração (PRE_N) maior que ou igual a 50,0 (conforme calculado por PRE_N = Cr + (3,3 x Mo) + (30 x N), em que Cr representa a porcentagem em peso de cromo na liga, Mo representa a porcentagem em peso de molibdênio na liga, e N representa a porcentagem em peso de nitrogênio na liga) e (ii) processamento de uma chapa, ou lingote ou outro artigo formado com o material em fusão, para reduzir a segregação do Mo e outros elementos de aliagem e/ou para homogeneizar material previamente segregado. Homogeneizar a liga é reduzir a segregação de elementos de aliagem. Entretanto, a liga não precisa ser homogeneizada em uma composição completamente uniforme por todo o artigo para se beneficiar da maior resistência à corrosão. Em uma modalidade, o aço inoxidável de Cr-Ni-Mo pode compreender, em peso, de 17 a 40% de níquel, de 14 a 22% de cromo, de 6 a 12% de molibdênio, e de 0,15 a 0,50% de nitrogênio. O restante da liga pode compreender ferro, juntamente com impurezas incidentais e outros elementos adicionados para alguma

finalidade auxiliar, conforme é sabido na produção de aço inoxidável.

Opcionalmente, a liga também pode conter até 6 por cento em peso, e mais preferivelmente até 2 por cento em peso, de manganês. O manganês tende a aumentar a solubilidade do nitrogênio. Conforme anteriormente declarado, o nitrogênio pode ser tipicamente adicionado a uma liga para suprimir o desenvolvimento de gases sigma e que, contribuindo, dessa forma, para a microestrutura austenítica da liga e promovendo valores de CCCT mais elevados. O nitrogênio também contribui para uma maior resistência da liga, assim como para uma melhor resistência à corrosão em fissura.

A resistência a microfissurações relativa de um aço inoxidável pode ser correlacionada à composição da liga usando-se a fórmula de PRE_N. Comentadores sugeriram várias fórmulas para determinar o PRE_N. Uma dessas fórmulas é usada aquisa, conforme acima apresentada. O PRE_N, embora não uma medida direta de resistência à corrosão, proporciona uma previsão útil, baseada na composição da liga, da resistência relativa de uma liga de aço inoxidável ao ataque corrosivo localizado induzido por cloreto.

Com um PRE_N igual a ou maior que 50, descobriu-se que a liga resultante do processo da presente invenção demonstra uma notável resistência ao ataque por cloreto localizado, como microfissurações e corrosão em fissura. Entretanto, é a composição da liga na região local exposta a condições corrosivas, em vez da composição global média da liga, que é determinante da resistência à corrosão do metal.

No desenvolvimento da presente invenção, descobriu-se que ligas de aço inoxidável não homogêneas são mais suscetíveis à corrosão do que ligas superaustenísticas mais homogêneas. Durante a produção, certos elementos de aliagem podem se segregar ou concentrar em fases secundárias. Nesses casos, os elementos individuais que compõem a liga não estão uniformemente dispersados por toda a liga. Assim, embora a composição projetada possa ser eficaz na resistência à corrosão, certas áreas localizadas da liga não compreendem a composição desejada. Essas áreas podem, então, ser mais suscetíveis ao ataque corrosivo por íons cloreto, resultando em microfissurações e corrosão em fissura. Isso é demonstrado pelos problemas associados à segregação do molibdênio anteriormente discutidos. Embora o molibdênio contribua para propriedades superiores de resistência à corrosão, pode se segregar em várias fases intermetálicas. Portanto, essas áreas da liga com menores concentrações de molibdênio são mais suscetíveis ao ataque corrosivo.

Tipicamente, em um processo da técnica anterior, um material quente é preparado com a composição elementar da liga desejada. O material quente pode ser preparado por qualquer meio convencional conhecido na produção de aço inoxidável, incluindo, mas não limitado a, descarburização com argênio e oxigênio ("AOD"). Em um processo AOD, uma préfusão pode ser preparada em um forno de arco elétrico carregando-se ferrocromo de alto carbono, ferrossilício, sucata de aço inoxidável, cal queimada e espatoflúor e derretendo-se a carga à temperatura desejada de maneira convencional. O

material quente é, então, vazado, a escória é removida, ele é pesado e transferido para um recipiente de AOD para refino até a composição química de liga desejada final.

O material quente pode ser, então, fundido em um lingote, chapa ou outro artigo. A fundição do artigo pode ser conseguida de qualquer maneira convencional conhecida na técnica, incluindo, mas não limitada a, fundição contínua de chapa, fundição de lingote ou fundição de chapa fina.

A seguir, o artigo fundido é reaquecido e desbastado. O reaquecimento é tipicamente conduzido a uma temperatura maior que 1.093°C (2.000°F) e pode ser efetuado a 1.232 - 1.260°C (2.250 - 2.300°F). A duração do reaquecimento varia com a espessura, mas tem de ser suficientemente longa para atingir uma temperatura essencialmente uniforme por toda a peça de trabalho. Tipicamente, usam-se tempos de cerca de 12 minutos por centímetro (30 minutos por polegada) de espessura. A temperatura de reaquecimento mínima é limitada pelo aumento de resistência do material a temperaturas mais baixas, ao passo que a fragilidade em quente ou fusão incipiente controla a temperatura superior. O artigo pode ser inicialmente trabalhado a quente (desbastado) a partir de uma forma de chapa ou lingote por laminação a quente ou forjamento, dependendo da forma de produto final desejada, em um ou mais estágios.

Opcionalmente, a preparação da superfície pode ser efetuada seguindo-se à etapa de trabalho a quente inicial. Essa preparação da superfície é tipicamente feita para remover defeitos de superfície. Esses defeitos podem incluir

respingos do molde do lingote, enrugamentos, lascas e rachaduras rasas.

Para aço em placa, a chapa desbastada pode, nesse momento, ser cortada em pedaços que proporcionem o tamanho de placa desejado, uma vez que tenha sido laminada até a espessura final desejada. Cada pedaço pode ser, então, adicionalmente trabalhado a quente por reaquecimento a, por exemplo, 1.204 - 1.232°C (2.200 - 2.250°F), conforme anteriormente descrito, e laminado a quente até a espessura desejada.

Para aço em folha, a chapa desbastada é tipicamente trabalhada a quente adicionalmente por reaquecimento a 1.232 - 1.260°C (2.250 - 2.300°F) e laminada até que sua espessura seja reduzida a cerca de 25,4 a 38,1 mm (1 a 1,5 polegadas). Essa laminação é tipicamente bidirecional (redução durante as passagens para frente e reversa em um laminador de reversão ou laminador Steckel), mas pode, em alguns casos, ser feita unidirecionalmente (redução apenas nas passagens para frente). Assim que se atinge a espessura desejada, a chapa reduzida, freqüentemente chamada de barra de transferência, é imediatamente alimentada a um laminador a quente de múltiplas gaiolas, onde é reduzida a uma espessura para formação de bobina, freqüentemente de cerca de 4,572 mm (0,180 polegadas) de espessura, e subseqüentemente enrolada a quente.

Após o trabalho a quente, o artigo pode ser recozido. Para produtos em folha e placa, o recozimento normalmente é feito acima de cerca de 1.093°C (2.000°C), seguido por resfriamento rápido. A temperatura de recozimento mínima

(definida por especificações de produto, como ASTM A-480) é determinada pela necessidade de se assegurar que a precipitação de fase intermetálica não ocorra e que precipitados de fase intermetálica pré-existentes sejam dissolvidos. O recozimento pode ser efetuado a temperaturas mais elevadas, até cerca de 1.288°C (2.350°F). O recozimento a uma temperatura mais alta que a mínima necessária pode ser indesejável pelas seguintes razões: maior custo de energia; maior custo de equipamento; disponibilidade reduzida do equipamento; resistência reduzida do produto (possivelmente abaixo do mínimo da especificação); crescimento excessivo de grãos; e oxidação excessiva.

O recozimento acima de 1.260°C (2.300°F) aumenta o risco de fusão do artigo. A temperatura exata de fusão variará com a composição da liga, o teor de elementos residuais e o grau de segregação.

Após o recozimento, a superfície do aço pode ser preparada por limpeza usando-se qualquer meio convencional. A primeira etapa é tipicamente a remoção de carepa de óxido da superfície. Para o material laminado a quente, esse processo de desescamação normalmente é feito mecanicamente. Tipicamente, o material recozido é jateado com granalha de aço, grana de aço, areia, glóbulos de vidro ou outro material em partículas duro e durável, para remover a carepa de óxido. Alternativamente, a carepa pode ser removida por esmerilhamento ou mediante processos químicos. Processos químicos para remoção de carepa incluem sais em fusão e decapagem ácida. Além de seu uso como o único processo de limpeza, a

decapagem ácida normalmente segue os tratamentos de desescamação mecânica (jateamento) e com sal em fusão. A decapagem ácida completa a remoção de partículas de óxido residuais e remove a superfície mais gravemente depletada de cromo subjacente à carepa de óxido superficial. A finalidade dessa limpeza de superfície depende do uso subseqüente do artigo em questão.

Para um produto em placas, a limpeza de superfície freqüentemente é o último procedimento metalurgicamente significativo na seqüência de produção. A finalidade da etapa de limpeza de superfície é a produção de uma superfície que esteja limpa e exiba boa resistência à corrosão. Para um produto em folha, a limpeza de superfície é menos importante para a qualidade do produto final (pois o produto será novamente limpo depois). A finalidade da limpeza de superfície da folha é proporcionar uma superfície que esteja limpa e não contamine as operações e os equipamentos de laminação a frio subseqüentes com detritos soltos.

Após as etapas acima, opcionalmente, o artigo pode ser, então, laminado a frio e recozido um tempo final usando processos convencionais conhecidos na produção de aço inoxidável. O produto é, então, mais uma vez limpado. Dependendo da espessura do material, esse processo de desescamação pode ser feito mecânica ou quimicamente. A decapagem ácida completa a remoção das partículas de óxido residuais e remove a superfície mais gravemente depletada de cromo subjacente à carepa de óxido superficial. A finalidade dessa etapa de limpeza é a produção de uma superfície que esteja limpa e

exiba boa resistência à corrosão.

Em uma forma, a presente invenção modifica o processo acima pela adição de uma ou mais etapas de homogeneização na forma de refusão e/ou recozimento prolongado. As Tabelas 1 - 5 e os Exemplos 1 e 2, apresentados abaixo, demonstram as vantagens da presente invenção. As Tabelas 1 e 2 apresentam resultados de testes de corrosão em fissura para um aço inoxidável de Cr-Ni-Mo com um PRE_N de 50 ou mais produzido por processos da técnica anterior (Tabelas 1 e 2), conforme genericamente descrito acima. A Tabela 3 apresenta resultados de testes de corrosão em fissura para um aço inoxidável da mesma composição (e PRE_N) que tenha sido homogeneizado por refusão de eletroescória durante o processamento, de acordo com a presente invenção. As Tabelas 4 e 5 apresentam resultados de testes de corrosão em fissura para um aço inoxidável da mesma composição (e PRE_N) que tenha sido homogeneizado por submissão a um tratamento de recozimento prolongado durante o processamento, de acordo com a presente invenção.

Os resultados de corrosão incluídos nas Tabelas 1 - 5 foram derivados usando-se um teste de corrosão em fissura ASTM G-48 Prática B modificado (Tabelas 1, 3 e 4) ou um teste de corrosão em fissura ASTM G-48 Prática D modificado (Tabelas 2 e 5). Em cada tipo de teste, dispositivos conhecidos como "blocos" são usados para promover a formação de fissuras de corrosão em uma superfície das amostras de teste. Esses blocos, que são cilindros de plástico de fluorocarbono, são pressionados contra a superfície das amostras

de teste por faixas de borracha padronizadas. O ataque sob os blocos formadores de fissura é o modo desejado de falha material nos testes. Quando as faixas de borracha se enrolam em torno das bordas das amostras de liga, podem-se criar áreas de fissuras adicionais. Embora isso também seja um ataque de corrosão em fissura, não é o modo desejado de falha nos testes. Há alguma controvérsia na técnica quanto a contar a corrosão desse tipo como passando ou falhando no procedimento de teste. Platôs se referem ao bloco formador de fissura usado no teste G-48-D, em que se usa uma montagem de múltiplas fissuras. Essa montagem de múltiplas fissuras consiste em duas arruelas segmentadas de fluorocarbono, cada uma com 12 fendas e 12 platôs. Isso proporciona 24 possíveis sítios de fissuras (um por platô) por amostra de liga. O julgamento padrão é que quanto mais sítios sejam atacados, maior a suscetibilidade da corrosão em fissura.

Tabela 1

Processo de Teste - ASTM G-48 Prática B Modificado

Solução de Teste - Cloreto Férrico Acidificado

Preparação da Amostra - Superfície laminada, limpeza com ácido

Código da Amostra	Temp. de Teste	Perda de Peso (g/cm^2)	Fissura Mais Funda	Notas
19-B4A	40°C (104°F)	0,0000	-	Sem ataque em fissura aparente
19-B4B	40°C (104°F)	0,0000	-	Sem ataque em fissura

				aparente
19-B5A	45°C (113°F)	0,0000	0,330 mm (0,013")	Ataque nas bordas
19-B5B	45°C (113°F)	0,0000	0,076 mm (0,003")	Ataque nas bordas
19-B1A	50°C (122°F)	0,0001	0,254 mm (0,010")	Ataque nas bordas e sob um bloco
19-B1B	50°C (122°F)	0,0001	0,102 mm (0,004")	Ataque nas bordas
19-B2A	55°C (131°F)	0,0000	0,102 mm (0,004")	Ataque nas bordas
19-B2B	55°C (131°F)	0,0002	0,305 mm (0,012")	Ataque nas bordas e sob um bloco
19-B3A	60°C (140°F)	0,0109	1,473 mm (0,058")	Ataque nas bordas e sob um bloco
19-B3B	60°C (140°F)	0,0017	1,270 mm (0,050")	Ataque nas bordas e sob dois blocos

A Tabela 1 mostra os resultados de um teste de corrosão em fissura ASTM G-48 Prática B modificado efetuado em uma liga existente com um PRE_N igual a ou maior que 50, preparada pelo processo da técnica anterior genericamente descrito acima. A liga da técnica anterior é um aço inoxidável superaustenítico comercialmente disponível, incluindo 20,0 - 22,0 por cento em peso de cromo, 23,5 - 25,5 por cen-

to em peso de níquel, 6,0 - 7,0 de molibdênio e 0,18 - 0,25 de nitrogênio, em que os teores de cromo, molibdênio e nitrogênio proporcionam um PRE_N de pelo menos 50. Essa liga é vendida sob o nome AL-6XN PLUS™ na Allegheny Ludlum Corporation. Uma composição de liga AL-6XN PLUS™ típica inclui 21,8 por cento em peso de cromo, 25,2 por cento em peso de níquel, 6,7 por cento em peso de molibdênio e 0,24 por cento em peso de nitrogênio. A liga AL-6XN PLUS™ também pode incluir os seguintes teores máximos de outros elementos: 0,03 por cento em peso de carbono, 2,0 por cento em peso de manganês, 0,040 por cento em peso de enxofre, 1,0 por cento em peso de silício e 0,75 por cento em peso de cobre.

A AL-6XN PLUS™ pode ser classificada dentro de um grupo de aços inoxidáveis austeníticos incluindo cerca de 6 a cerca de 7 por cento em peso de molibdênio. Essas ligas tipicamente também incluem cerca de 19 a cerca de 22 por cento em peso de cromo, cerca de 17,5 a cerca de 26 em peso, e cerca de 0,1 a cerca de 0,25 por cento em peso de nitrogênio.

O teste ASTM G-48 Prática B Padrão usado nos ensaios mostrados na Tabela 1 empregavam uma solução de teste de cloreto férrico ácido, em vez da solução pura especificada na Prática B (todas as referências a testes "modificados" nas Tabelas 1 - 5 referem-se ao uso de solução de teste de cloreto férrico acidificado, em vez da solução pura especificada pelo padrão ASTM). A temperatura elevada (tipicamente acima de cerca de 35°C (95°F)), a solução de cloreto férrico, conforme especificada para G-48 procedimentos A e B, começa a se hidrolisar em hidróxido férrico e ácido clorídri-

co. Essa hidrólise altera a solução e pode possivelmente alterar a corrosividade da solução. A adição de ácido clorídrico, conforme especificado para G-48 procedimentos C e D, ajuda a suprimir essa hidrólise produzir resultados mais consistentes. Com referência à Tabela 1, a 40°C (104°F), esse teste mostra duas amostras da liga sem nenhum ataque em fissura aparente e nenhuma perda de peso.

A 45°C (113°F), ambas as amostras mostraram ataque nas bordas, mas nenhuma perda de peso. A amostra 19-B5 experimentou uma fissura de 0,330 mm (0,013") de profundidade, ao passo que a amostra 19-B5B tinha uma profundidade de fissura de apenas 0,076 mm (0,003"). Nenhuma amostra experimentou perda de peso.

A 50°C (122°F), ambas as amostras experimentaram corrosão em fissura e uma perda de peso de pelo menos 0,0001 g/cm^2. A amostra 19-B1A experimentou ataque nas bordas e sob um bloco, com uma profundidade de fissura de 0,254 mm (0,010"). A amostra 19-B1B experimentou ataque nas bordas, com uma profundidade de fissura de 0,102 mm (0,004").

A temperaturas acima de 50°C (122°F), todas as amostras experimentaram corrosão em fissura, e todas as amostras, exceto a 19-B2A, experimentaram perda de peso. Conforme indicado pelos resultados da Tabela 1, a liga preparada pelos processos da técnica anterior se caracteriza por uma CCCT de 50°C (122°F).

Tabela 2

Processo de Teste - ASTM G-48 Prática D Modificado

Solução de Teste - Cloreto Férrico Acidificado

Preparação da Amostra - Superfície laminada, limpeza com ácido

Código da Amostra	Temp. de Teste	Perda de Peso (g/cm^2)	Fissura Mais Funda	Notas
19-D4A	40°C (104°F)	0,0000	-	Apenas cáusticação
19-D4B	40°C (104°F)	0,0000	-	Apenas cáusticação
19-D5A	45°C (113°F)	0,0000	0,330 mm (0,013")	Ataque em 10 de 24 platôs
19-D5B	45°C (113°F)	0,0001	0,076 mm (0,003")	Ataque em 11 de 24 platôs
19-D1A	50°C (122°F)	0,0002	0,279 mm (0,011")	Ataque em 14 de 24 platôs
19-D1B	50°C (122°F)	0,0023	0,864 mm (0,034")	Ataque em 10 de 24 platôs
19-D2A	55°C (131°F)	0,0031	1,041 mm (0,041")	Ataque em 18 de 24 platôs
19-D2B	55°C (131°F)	0,0029	0,838 mm (0,033")	Ataque em 10 de 24 platôs
19-D3A	60°C (140°F)	0,0105	> 1,524 mm (0,060")	Ataque em 21 de 24 platôs
19-D3B	60°C (140°F)	0,0060	1,194 mm (0,047")	Ataque em 11 de 24 platôs

A Tabela 2 mostra os resultados de um teste de corrosão em fissura ASTM G-48 Prática D modificado em liga AL-6XN PLUS™ que tenha sido produzida por um processo da técnica anterior, conforme acima descrito. Conforme acima apontado, a AL-6XN PLUS™ tem um PRE_N igual a ou maior que 50.

Com referência à Tabela 2, a 45°C (113°F) e acima, as amostras mostraram ataque em pelo menos 10 de 24 platôs, com uma profundidade de fissura na faixa de 0,076 mm (0,003") a 1,524 mm (0,060") e perda de peso de até 0,0060 g/cm^2. A amostra 19-D5B mostrou ataque em 11 de 24 platôs, com uma profundidade de fissura de 0,076 mm (0,003") e uma perda de peso de até 0,0001 g/cm^2. Sob o teste efetuado na Tabela 2, a liga preparada pelos processos da técnica anterior se caracteriza por uma CCCT de 45°C (113°F) a 50°C (122°F).

De acordo com a presente invenção, para conferir uma maior resistência à corrosão conforme indicada pela CCCT, sem necessidade de aumentar o teor de liga ou o valor de PRE_N, uma liga de aço inoxidável de Cr-Ni-Mo pode ser homogeneizada por uma ou mais operações. Conforme descrito adicionalmente abaixo, a liga pode ser homogeneizada, por exemplo, por refusão ou recozimento durante um período de tempo prolongado. Conforme usado no contexto da presente descrição da invenção, "homogeneização" e "homogeneizar" referem-se ao processo de redução da extensão de segregação dos principais elementos de aliagem em uma liga que contribuam para a resistência à corrosão da liga. Uma liga ou artigo "homogeneizado" é um que tenha sido submetido a uma homogeneização conforme aqui definida. Na presente invenção,

os principais elementos de aliagem que contribuem para a resistência à corrosão incluem molibdênio, que contribui diretamente para a resistência à corrosão conforme calculado pela equação de PRE_N acima. A homogeneização resulta em uma composição de liga mais uniforme e evita áreas localizadas que sejam deficientes em elementos que contribuam para a resistência à corrosão e que possam ser mais suscetíveis à corrosão. Os inventores descobriram que a homogeneização de uma liga com um PRE_N igual a ou maior que 50 confere uma resistência à corrosão inesperadamente melhor à liga. O tratamento de homogeneização aqui considerado reduzirá a extensão de segregação dos principais elementos de aliagem nas regiões tratadas, mas pode não aliviar inteiramente a segregação desses elementos. Todavia, os inventores descobriram que a redução da extensão de segregação desses elementos em regiões submetidas a condições que promovam a corrosão melhora substancialmente a resistência à corrosão, conforme refletida por valores de CCCT.

Portanto, após a fundição, pelo menos uma parte do artigo fundido, quer em forma de chapa, lingote ou outra, pode ser refundido para homogeneizar a parte. Os inventores descobriram que a refusão de todo ou de uma parte do artigo após a fundição homogeneíza e reduz a ocorrência de inclusões na parte refundida. Isso representa um afastamento dos processos convencionais de fabricação de aço inoxidável. A etapa de refundição pode ser realizada por refusão de eletroescória ("ESR") ou outros processos convencionais conhecidos na fabricação de aço inoxidável, incluindo, mas não

limitados a, refusão a arco a vácuo (VAR), refusão de superfície a laser e refusão com feixe de elétrons (EB). O artigo fundido inteiro pode ser refundido para homogeneizar o artigo inteiro e melhorar a resistência à corrosão de todas as superfícies do artigo. Técnicas adequadas para a refusão e homogeneização de um artigo fundido inteiro incluem, por exemplo, refusão ESR, VAR e EB. Alternativamente, pelo menos uma região de superfície do artigo pode ser refundida para homogeneizar a região e aumentar a resistência à corrosão da superfície. Técnicas adequadas para refusão e homogeneização de uma região de superfície de um artigo fundido incluem a refusão de superfície a laser.

O processo ESR conhecido foi desenvolvido como um meio para reduzir a concentração de impurezas indesejáveis, como enxofre, em uma liga mediante reação com uma escória de composição controlada. A ESR também foi reconhecida como um processo para remover ou alterar inclusões. O uso de ESR para deliberadamente controlar a segregação induzida por solidificação de elementos de aliagem, como molibdênio, é menos comum, e seu uso para essa finalidade não é parte da prática convencional de fabricação de aço inoxidável.

A VAR é freqüentemente usada para homogeneizar ligas à base de níquel, como a liga 718. A VAR é tipicamente usada na produção da liga 718 para reduzir o grau de segregação do nióbio comumente presente em material fundido em lingote ou por ESR. Como o processo VAR é conduzido em um vácuo, o processamento VAR de uma liga contendo nitrogênio, como a liga considerada nas Tabelas 1 e 2 acima, é difícil.

Apesar dessa dificuldade, com um cuidado apropriado, a VAR poderia ser adaptada para homogeneizar essas ligas.

A refusão de superfície a laser é efetuada por quadriculação de um feixe laser sobre toda a superfície do artigo. A alta taxa de ressolidificação deve fornecer um espaçamento muito fino de dendritos e, portanto, permitir uma homogeneização rápida e essencialmente completa por toda a superfície do artigo.

Os inventores também descobriram que a homogeneização de todo ou de parte de um artigo de uma liga de aço inoxidável de Cr-Ni-Mo com um PRE_N igual a ou maior que 50 por recozimento do artigo durante um tempo prolongado melhora substancialmente a resistência à corrosão do artigo. O tratamento de recozimento, aqui chamado de "recozimento prolongado", pode ser efetuado após a, ou em vez da, etapa de recozimento em laminador após o trabalho a quente no processo da técnica anterior acima descrito. O recozimento é um tratamento que compreende a exposição de um artigo a temperatura elevada durante um período de tempo, seguido por resfriamento a uma taxa adequada. O recozimento é usado principalmente para amolecer materiais metálicos, mas também pode ser usado para produzir simultaneamente alterações desejadas em outras propriedades ou na microestrutura. O recozimento normalmente é efetuado a uma temperatura em que fases indesejáveis, como fases sigma, qui e mu, são dissolvidas. Na presente invenção, pelo menos uma parte do artigo é recozida a uma temperatura maior que 1.079°C (2.000°F) durante um período de tempo suficiente para homogeneizar (isto é, diminu-

ir a segregação de importantes elementos de aliagem em) a parte. Por exemplo, o tratamento de recozimento prolongado pode ser efetuado por aquecimento do artigo de 1.121 a 1.288°C (2.050 a 2.350°F) durante um período maior que uma hora, mas é, de preferência, efetuado por aquecimento a cerca de 1.177°C (2.150°F) durante cerca de duas horas.

A patente norte-americana n° 5.019.184 descreve o uso de homogeneização térmica para aumentar a resistência à corrosão de ligas à base de níquel contendo 19 - 23 por cento em peso de Cr e 14 - 17 por cento em peso de Mo. Essa homogeneização é descrita como um processo para reduzir a formação de fase mu, $(Ni,Cr,Fe,Co)_3(Mo,W)_2$. A fase mu foi identificada como sendo prejudicial para a resistência à corrosão da liga de Ni-Cr-Mo que era o assunto dessa patente.

O processo da patente '184 difere da presente invenção pelo menos pela razão de a finalidade do processo da técnica anterior ser a eliminação de uma fase indesejável. Em contraste, um objetivo da presente invenção é a eliminação de regiões pobres em soluto (molibdênio) dentro da fase austenítica, que é a fase de matriz para a liga AL-6XN PLUS™ e compreende nominalmente toda a liga. A Figura 1 ilustra genericamente como uma liga pode ser homogeneizada por manutenção da liga em uma faixa de temperaturas de homogeneização ótima logo abaixo da temperatura de solubilidade sólida máxima, durante um período de tempo prolongado. Ao fazer isso, a difusão do molibdênio reduzirá os gradientes de composição dentro da liga.

Em uma modalidade do processo da presente invenção, tanto a etapa de refusão, quanto de recozimento prolongado são realizadas para homogeneizar a liga de Cr-Ni-Mo. Em uma modalidade alternativa, a etapa de refusão ou a etapa de recozimento prolongado é realizada isoladamente. O processo escolhido pode depender do nível de resistência à corrosão desejado e do custo das etapas de processamento adicionais.

Conforme acima indicado, a CCCT de uma liga é a menor temperatura em que ocorre corrosão em fissura em amostras da liga em um ambiente específico. A CCCT é tipicamente determinada de acordo com ASTM Padrão G-48. Quanto mais alta a CCCT, maior a resistência à corrosão da liga. Assim, para ligas expostas a ambientes corrosivos, é desejável que a liga possua uma CCCT tão alta quanto possível. Os Exemplos 1 e 2, apresentados abaixo, ilustram o efeito positivo que a combinação de uma liga com um PRE_N igual a ou maior que 50 submetida a uma homogeneização pelo menos parcial de acordo com a presente invenção tem sobre a CCCT e a resistência à corrosão da liga. A incorporação das etapas de refusão e/ou recozimento prolongado ao processo da técnica anterior, conforme acima exposto, usando a composição de liga investigada nos exemplos abaixo, resulta em um aço inoxidável superaustenítico com propriedades superiores de resistência à corrosão. Esses resultados são surpreendentes na medida em que, enquanto um PRE_N aumentado demonstrou melhores propriedades de resistência à corrosão, não se sabia que a homogeneização de uma liga com um PRE_N maior que 50 conferiria também uma resistência à corrosão aumentada.

Exemplo 1

Tabela 3

Processo de Teste - ASTM G-48 Prática B Modificado

Solução de Teste - Cloreto Férrico Acidificado

Preparação da Amostra - Superfície laminada, limpeza com ácido

Código da Amostra	Temp. de Teste	Perda de Peso (g/cm^2)	Fissura Mais Funda	Notas
120B 451	45°C (113°F)	0,0000	-	Sem ataque em fissura aparente
120B 452	45°C (113°F)	0,0000	-	Sem ataque em fissura aparente
120B 501	50°C (122°F)	0,0000	-	Sem ataque em fissura aparente
120B 502	50°C (122°F)	0,0000	-	Sem ataque em fissura aparente
120B 551	55°C (131°F)	0,0000	-	Sem ataque em fissura aparente
120B 552	55°C (131°F)	0,0000	-	Sem ataque em fissura aparente
120B 651	65°C (149°F)	0,0000	-	Sem ataque em fissura aparente
120B 652	65°C (149°F)	0,0000	-	Leve ataque em uma borda

A Tabela 3 mostra os resultados de um teste de corrosão em fissura ASTM G-48 Prática B modificado realizado em uma liga AL6-XN PLUS™ que foi preparada pelo processo da

técnica anterior, conforme acima descrito, e com a etapa adicional de ESR após a fundição. Nenhum ataque em fissura ou perda de peso mensurável ocorreu em qualquer amostra a temperaturas variando de 45 - 65°C (113 - 149°F). A Amostra 120B 651 mostrou evidências de um leve ataque em uma borda, mas não tinha profundidade de fissura ou perda de peso mensurável. A CCCT de uma liga produzida pela presente invenção é maior que 65°C (149°F). Conforme indicado na Tabela 3, os resultados de corrosão obtidos com a liga processada por ESR são superiores aos da liga da Tabela 1, que foi preparada pelo mesmo processo, mas sem a etapa de ESR adicional. Sem se limitar ao mecanismo a seguir, acredita-se que a CCCT mais alta seja devida ao fato de o processamento ESR proporcionar uma maior homogeneização dos principais elementos de aliagem na região de superfície do que apenas o recozimento no laminador. Esses resultados demonstram a importância de um tratamento de homogeneização para se obter uma resistência à corrosão mais desejável em aços inoxidáveis de Cr-Ni-Mo com um PRE_N igual a ou maior que 50.

Exemplo 2

Tabela 4

Processo de Teste - ASTM G-48 Prática B Modificado

Solução de Teste - Cloreto Férrico Acidificado

Preparação da Amostra - Todas as superfícies fortemente polidas, seguido por limpeza com ácido

Código da Amostra	Temp. de Teste	Perda de Peso (g/cm^2)	Fissura Mais Funda	Notas
19-CBE1	55°C (131°F)	0,0001	-	Ataque muito raso nas bordas
19-CBE2	55°C (131°F)	0,0001	-	Ataque muito raso nas bordas

A Tabela 4 mostra os resultados de um teste de corrosão em fissura ASTM G-48 Prática B modificado realizado em uma liga AL6-XN PLUS™ preparada pelo processo da técnica anterior acima descrito, e com um tratamento de homogeneização por recozimento prolongado de duas horas adicional a 1.177°C (2.150°F). A 55°C (131°F), ambas as amostras experimentaram um ataque muito raso nas bordas, mas a profundidade da fissura não era mensurável. Além disso, cada amostra experimentou uma perda de peso de 0,0001 g/cm^2. Os dados da Tabela 4 demonstram que a homogeneização realizada por recozimento prolongado produziu uma liga com uma CCCT maior que 55°C (131°F). Essas propriedades são substancialmente superiores às observadas com a mesma liga produzida por processos convencionais na Tabela 1, que produziu uma CCCT de 50°C (122°F). A Tabela 4 também confirma a importância da homogeneização de uma liga com um PRE_N igual a ou maior que 50 para se obterem propriedades de resistência à corrosão mais desejáveis.

Tabela 5

Processo de Teste - ASTM G-48 Prática D Modificado

Solução de Teste - Cloreto Férrico Acidificado

Preparação da Amostra - Todas as superfícies fortemente polidas, seguido por limpeza com ácido

Código da Amostra	Temp. de Teste	Perda de Peso (g/cm^2)	Fissura Mais Funda	Notas
19-CBE1	55°C (131°F)	0,0000	0,0254 mm (0,001")	Ataque em 1 de 24 platôs
19-CBE2	55°C (131°F)	0,0000	0,0127 mm (0,0005")	Ataque em 1 de 24 platôs

A Tabela 5 mostra os resultados de um teste de corrosão em fissura ASTM G-48 Prática D modificado realizado em uma liga AL6-XN PLUS™ preparada pelo processo da técnica anterior acima descrito, e com um tratamento de homogeneização por recozimento prolongado de duas horas adicional a 1.177°C (2.150°F). A amostra 19-CBE1 do Exemplo 5 mostrou ataque em 1 de 24 platôs, uma profundidade de fissura de 0,0254 mm (0,001") e nenhuma perda de peso. A amostra 19-CBE2 mostrou ataque em 1 de 24 platôs, uma profundidade de fissura de 0,0127 mm (0,0005") e nenhuma perda de peso.

A liga da Tabela 5, que sofreu um recozimento prolongado para fins de homogeneização, mostrou apenas um ataque mínimo a 55°C (131°F). Conforme indicado pelos resultados acima, a liga da Tabela 5 tem uma CCCT de pelo menos 55°C (131°F). Esses resultados são superiores aos observados com a liga da Tabela 2, que produziu uma CCCT de 45°C (113°F) sob as mesmas condições de teste para uma liga produzida pelos processos da técnica anterior.

Aqueles versados na técnica podem determinar prontamente um ponto apropriado no qual incluir o tratamento de

homogeneização por recozimento prolongado da presente invenção. Possíveis técnicas de recozimento prolongado incluem, por exemplo, recozimento em caixa e recozimento em linha. A escolha da técnica mais adequada dependerá de fatores que incluem preocupações de custo e de processamento. Se, por exemplo, a liga tiver de ser processada em placa, o recozimento prolongado pode ser realizado por recozimento em bateladas de um número das placas em um forno de recozimento em caixa. Se a liga tiver de ser processada em folha, as chapas podem ser submetidas ao tratamento de recozimento prolongado em uma operação em bateladas e, então, as chapas aquecidas pode ser laminadas a quente. Alternativamente, as chapas processadas a uma espessura final de produto de folha pode ser recozida em linha a uma temperatura maior que 1.079°C (2.000°F) durante um período suficiente para homogeneizar a liga. Nas Tabelas 4 e 5 acima, as amostras foram processadas a um calibre final antes de serem tratadas por recozimento prolongado. Como a homogeneidade das superfícies expostas a condições que promovam corrosão é de grande importância, acredita-se que técnicas adaptadas para homogeneizar regiões de superfície de interesse por um tratamento de recozimento prolongado também aumentem significativamente a resistência à corrosão.

Os exemplos acima indicam que as ligas de Cr-Ni-Mo processadas pelo processo da presente invenção possuem resistência à corrosão superior, conforme medida pela CCCT, quando comparadas a uma liga da mesma composição processada por processos da técnica anterior. As Tabelas 1 e 2 indicam

que a CCCT da liga AL-6XN PLUS™ é de cerca de 50°C (122°F) usando o teste de corrosão em fissura G-48 Prática B modificado, e de cerca de 45°C (113°F) usando o teste ASTM G-48 Prática D modificado. Esses valores de CCCT são maiores que aqueles para outro aço inoxidável de Cr-Ni-Mo da técnica anterior conhecido como AL-6XN® (disponível na Allegheny Ludlum Corp.), que tem tipicamente um PRE_N de aproximadamente 47. Essa liga da técnica anterior pode ser caracterizada por uma CCCT de cerca de 43°C (110°F) no teste de corrosão em fissura G-48 Prática B modificado, e de 35°C (95°F) no teste de corrosão em fissura G-48 Prática D padrão (não modificado). O aumento adicional na CCCT conseguido pelo processamento da liga AL-6XN PLUS™ usando o processo da presente invenção foi significativo e inesperado. Os ganhos adicionais na resistência à corrosão conseguidos mediante uso da invenção não requereram outras adições de aliagem para aumentar o PRE_N, e dificuldades de processamento associadas ao manuseio de material de aliagem mais alta foram evitadas.

As Figuras 2 e 3 ilustram graficamente o efeito da presente invenção sobre o valor de CCCT da liga. A Figura 2 é um gráfico de barras comparando valores de CCCT obtidos com os resultados de um teste de corrosão em fissura ASTM G-48 Prática B modificado efetuado em uma liga não homogeneizada com um PRE_N igual a ou maior que 50,produzida por um processo da técnica anterior ("liga comercialmente disponível"), uma liga com um PRE_N igual a ou maior que 50 preparada por um processo da técnica anterior e, então, homogeneizada por um recozimento prolongado a 1.117°C (2.150°F) du-

rante pelo menos duas horas ("liga recozida prolongadamente"), e uma liga com um PRE_N igual a ou maior que 50 preparada por um processo da técnica anterior e homogeneizada por ESR ("liga ESR"). A liga comercialmente disponível apresentou uma CCCT de 50°C (122°F). A liga recozida prolongadamente mostrou uma CCCT de pelo menos 55°C (131°F), ao passo que a liga ESR tinha uma CCCT de pelo menos 65°C (149°F).

A Figura 3 é um gráfico de barras comparando os valores de CCCT obtidos com os resultados de um teste de corrosão em fissura ASTM G-48 Prática D realizado em uma liga não homogeneizada com um PRE_N igual a ou maior que 50, preparada por um processo da técnica anterior ("liga comercialmente disponível"), e uma liga com um PRE_N igual a ou maior que 50 preparada por um processo da técnica anterior e homogeneizada por um recozimento prolongado a 1.117°C (2.150°F) durante pelo menos duas horas ("liga recozida prolongadamente"). A liga comercialmente disponível apresentou uma CCCT de 45°C (113°F), ao passo que a liga recozida prolongadamente tinha uma CCCT de pelo menos 55°C (131°F).

Deve-se entender que a presente descrição ilustra os aspectos da invenção relevantes para uma clara compreensão da invenção. Certos aspectos da invenção que ficariam aparentes para aqueles versados na técnica e que, portanto, não facilitariam uma melhor compreensão da invenção não foram apresentados para simplificar a presente descrição. Embora a presente invenção tenha sido descrita com relação a certas modalidades, aqueles versados na técnica, considerando a descrição precedentes, reconhecerão que muitas modifi-

cações e variações da invenção podem ser empregadas. Pretende-se que todas essas variações e modificações da invenção sejam cobertas pela descrição precedente e pelas reivindicações a seguir.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para melhorar a resistência à corrosão de um aço inoxidável, compreendendo uma fase de austenita, o processo compreendendo:

fornecer um artigo de aço inoxidável compreendendo 14 a 22 por cento em peso de cromo, 17 a 40 por cento em peso de níquel, 6 a 12 por cento em peso de molibdênio, 0,15 a 0,50 por cento em peso de nitrogênio, até 0,03 por cento em peso de carbono, até 0,040 por cento em peso de enxofre, até 1 por cento em peso de silício, até 0,75 por cento em peso de cobre, até 6 por cento em peso de manganês, o restante de ferro e impurezas incidentais, e tendo um PRE_N de pelo menos 50 conforme determinado pela equação:

$$PRE_N = Cr + (3,3 \times Mo) + (30 \times N),$$

em que Cr é a porcentagem em peso de cromo, Mo é a porcentagem em peso de molibdênio e N é a porcentagem em peso de nitrogênio, todas com base no peso total do aço; **CARACTERIZADO** pelas etapas de:

homogeneizar pelo menos uma porção do artigo com pelo menos uma refusão com feixe de elétron na porção e refusão superficial por laser na porção.

2. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato do fornecimento do artigo compreender:

fornecer um material em fusão de aço inoxidável;

fundir material em fusão para formar o artigo.

3. Processo, de acordo com a reivindicação 2, **CARACTERIZADO** pelo fato do artigo ser um lingote, uma chapa e uma placa.

4. Processo, de acordo com a reivindicação 2, **CARACTERIZADO** pelo fato do fornecimento do artigo compreender:

fornecer um material em fusão de aço inoxidável;

fundir o material em fusão em um lingote ou uma chapa de aço inoxidável; e

processar ainda o aço inoxidável para formar o artigo.

5. Processo, de acordo com a reivindicação 4, **CARACTERIZADO** pelo fato do processamento adicional do aço inoxidável compreender pelo menos um dentre laminação a quente, forjamento e laminação a frio do aço inoxidável.

6. Processo, de acordo com a reivindicação 5, **CARACTERIZADO** pelo fato do artigo ser uma placa ou uma folha.

7. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato do aço inoxidável compreender:

19 a 22 por cento em peso de cromo;

17,5 a 26 por cento em peso de níquel;

6 a 7 por cento em peso de molibdênio; e

0,1 a 0,25 por cento em peso de nitrogênio, todos com base no peso total do aço inoxidável.

8. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato do aço inoxidável compreender:

20 a 22 por cento em peso de cromo;

23,5 a 25,5 por cento em peso de níquel;

6,0 a 7,0 por cento em peso de molibdênio; e

0,18 a 0,25 por cento em peso de nitrogênio, todos com base no peso total do aço inoxidável.

9. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato do aço inoxidável compreender:

21,8 por cento em peso de cromo;

25,2 por cento em peso de níquel;

6,7 por cento em peso de molibdênio; e

0,24 por cento em peso de nitrogênio, todos com base no peso total do aço inoxidável.

10. Processo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 7 a 9, **CARACTERIZADO** pelo fato do aço inoxidável ainda compreender até 6 por cento em peso de manganês.

11. Processo, de acordo com a reivindicação 4, **CARACTERIZADO** por compreender ainda, após a fundição do material em fusão em um lingote ou chapa, a refusão de pelo menos uma parte do lingote ou chapa para homogeneizar a parte.

12. Processo, de acordo com a reivindicação 11, **CARACTERIZADO** por compreender:

fornecer um material em fusão de aço inoxidável compreendendo de 20 a 22 por cento em peso de cromo, de 23,5 a 25,5 por cento em peso de níquel, de 6,0 a 7,0 por cento em peso de molibdênio e de 0,18 a 0,25 por cento em peso de nitrogênio, até 6 por cento em peso de manganês, o restante de ferro e impurezas incidentais, e com um PRE_N de pelo menos 50 conforme determinado pela equação:

$$PRE_N = Cr + (3,3 \times Mo) + (30 \times N),$$

em que Cr é a porcentagem em peso de cromo, Mo é a porcentagem em peso de molibdênio, e N é a porcentagem em peso de nitrogênio, todas com base no peso total do aço;

a fundição do material em fusão para formar um artigo de aço inoxidável; e

homogeneizar pelo menos uma porção do artigo pela refusão com feixe de elétrons na porção sob condições suficientes para reduzir o grau de segregação de molibdênio na porção e outros elementos principais da liga e aumentar a resistência a corrosão da porção; e processamento adicional do aço inoxidável para um aferidor final.

13. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que homogeneizar pelo menos uma porção do artigo compreende a refusão de pelo menos uma

porção do aço inoxidável e subsequentemente o recozimento estendido de pelo menos uma porção de aço inoxidável.

14. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato do aço inoxidável compreender:

20 a 22 por cento em peso de cromo;

23,5 a 25,5 por cento em peso de níquel;

6 a 7 por cento em peso de molibdênio;

0,18 a 0,25 por cento em peso de nitrogênio;

até 0,03 por cento em peso de carbono;

até 2 por cento em peso de manganês;

até 0,040 por cento em peso de enxofre;

até 1 por cento em peso de silício; e

até 0,75 por cento em peso de cobre, com base no peso total do aço inoxidável, e o restante de ferro e impurezas incidentais.

15. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato da refusão de pelo menos uma porção do aço inoxidável compreender a refusão de uma porção do aço inoxidável por refusão com feixe de elétrons.

16. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato da refusão de pelo menos uma porção do aço inoxidável compreender a refusão de uma região de superfície do aço inoxidável por fusão superficial a laser.

17. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato da refusão de pelo menos uma porção

do artigo reduzir a extensão do grau de segregação de molibdênio na porção.

18. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** por compreender ainda, após pelo menos uma dentre refusão com feixe de elétrons e refusão superficial a laser da porção, laminação a quente do aço inoxidável.

19. Processo, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** por compreender ainda, após pelo menos uma dentre refusão com feixe de elétrons e refusão superficial a laser da porção, recozimento do aço inoxidável.

20. Processo, de acordo com a reivindicação 19, **CARACTERIZADO** pelo fato do recozimento do aço inoxidável compreender o aquecimento do aço inoxidável a uma temperatura maior que 1093°C (2000°F) e manutenção do aço inoxidável a uma temperatura de aquecimento por um período de tempo suficiente para homogeneizar o aço inoxidável.

21. Processo, de acordo com a reivindicação 20, **CARACTERIZADO** pelo fato do recozimento compreender o aquecimento do aço inoxidável a uma temperatura na faixa de 1121 a 1288°C (2050 a 2350°F) e a manutenção do aço inoxidável à temperatura de aquecimento durante mais de 1 hora.

22. Processo, de acordo com a reivindicação 20, **CARACTERIZADO** pelo fato do recozimento do aço inoxidável compreender o aquecimento do aço inoxidável a uma

temperatura de pelo menos 1177°C (2150°F) e a manutenção do aço inoxidável à temperatura de aquecimento durante pelo menos 2 horas.

Figura 1

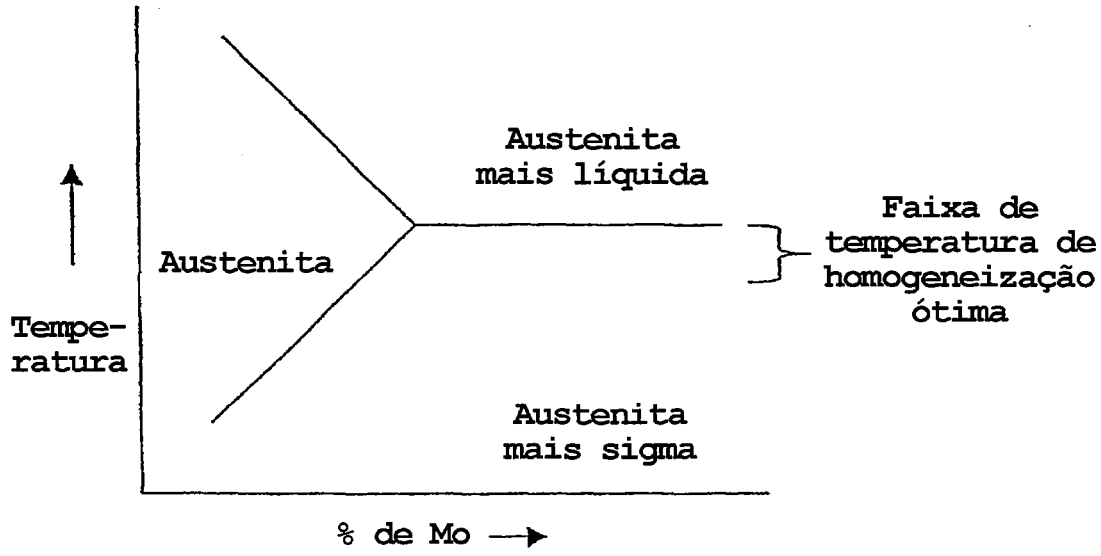

Austenita
mais líquida
Faixa de
temperatura de
homogeneização
ótima
Austenita
Tempe-
ratura
Austenita
mais sigma
% de Mo

Figura 2

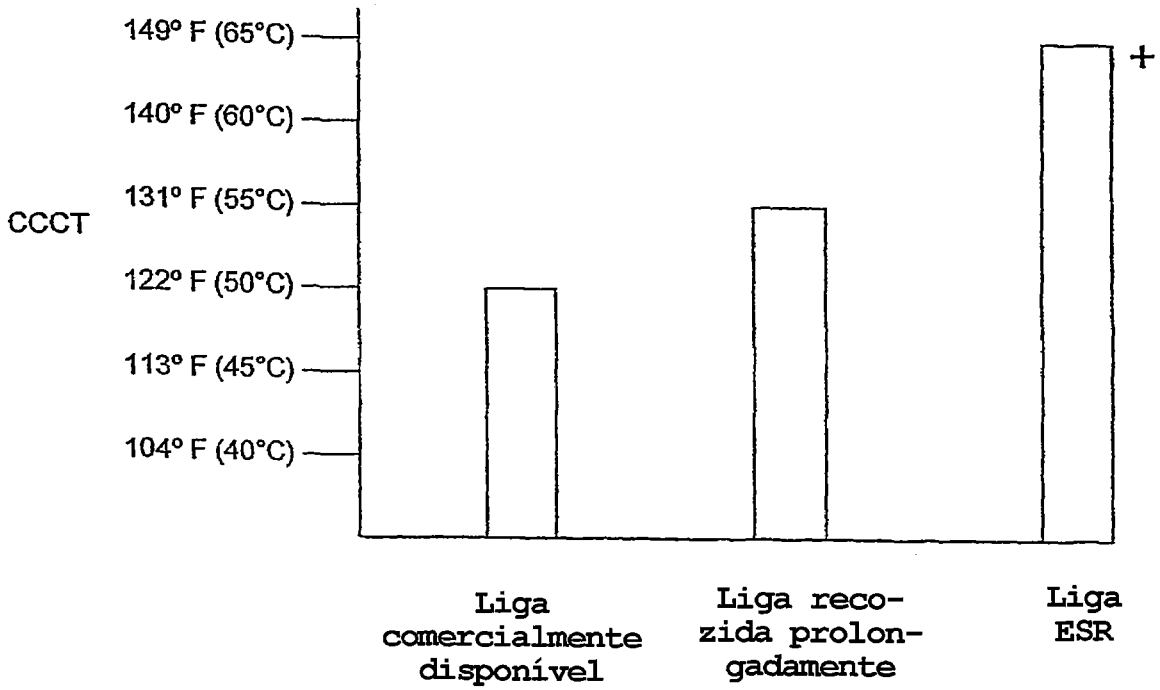
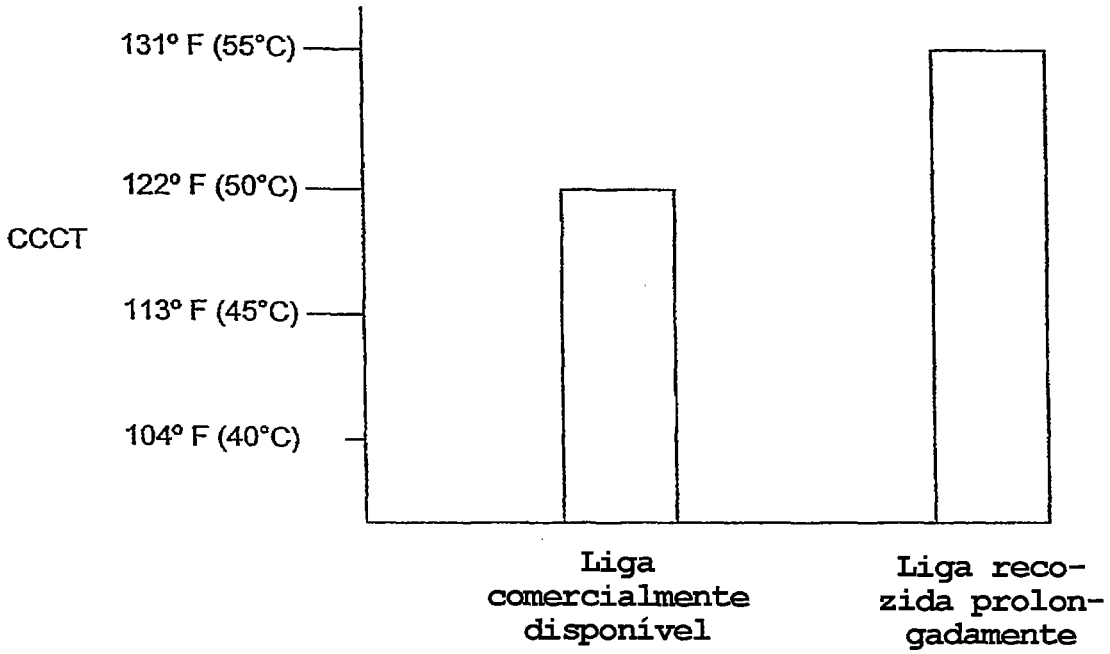

149° F (65°C)
140° F (60°C)
131° F (55°C)
122° F (50°C)
113° F (45°C)
104° F (40°C)
CCCT
+
Liga comercialmente disponível
Liga recozida prolongadamente
Liga ESR

Figura 3


131° F (55°C)
122° F (50°C)
CCCT
113° F (45°C)
104° F (40°C)
Liga comercialmente disponível
Liga recozida prolongadamente

RESUMO

"PROCESSO PARA A PRODUÇÃO DE AÇOS INOXIDÁVEIS COM MELHOR RESISTÊNCIA À CORROSÃO"

Processo para a produção de um aço inoxidável com melhor resistência à corrosão, que inclui a homogeneização de pelo menos uma parte de um artigo de aço inoxidável incluindo cromo, níquel e molibdênio e com um PRE_N de pelo menos 50, conforme calculado pela equação: $PRE_N = Cr + (3,3 \times Mo) + (30 \times N)$, em que Cr é a porcentagem em peso de cromo, Mo é a porcentagem em peso de molibdênio, e N é a porcentagem em peso de nitrogênio no aço. Em uma forma do processo, pelo menos uma parte do artigo é refundida para homogeneizar a parte. Em outra forma do processo, o artigo é recozido sob condições suficientes para homogeneizar pelo menos uma região de superfície do artigo. O processo da invenção aumenta a resistência à corrosão do aço inoxidável conforme refletido pela temperatura crítica de corrosão em fissura do aço.