



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

(21) **PI 0712148-2 A2**



(22) Data de Depósito: 07/06/2007
(43) Data da Publicação: 22/02/2012
(RPI 2146)

(51) *Int.Cl.:*
C22C 38/22

(54) **Título:** COMPOSIÇÕES DE AÇOS PARA USOS ESPECIAIS

(30) **Prioridade Unionista:** 09/06/2006 FR 06 05133

(73) **Titular(es):** V&M France

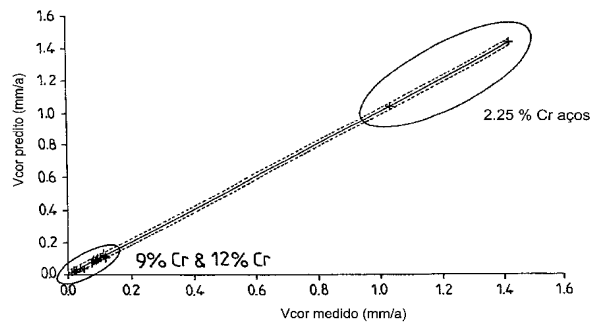
(72) **Inventor(es):** Bruno Vandenberghe, Daniel Peletot (Falecido), Ghislain Louis, Jean Leyer, Viviane Lepingle

(74) **Procurador(es):** Dannemann, Siemsen, Bigler & Ipanema Moreira

(86) **Pedido Internacional:** PCT FR2007000941 de 07/06/2007

(87) **Publicação Internacional:** WO 2007/141427 de 13/12/2007

(57) **Resumo:** COMPOSIÇÕES DE AÇOS PARA USOS ESPECIAIS. A presente invenção refere-se a aços que apresentam uma excelente resistência no tempo, sob ambiente de corrosão por meios oxidantes tais como, por exemplo, fumaças ou vapor d'água, sob pressão e/ou temperatura elevadas. É proposta uma composição de aço para aplicações especiais, que se situa na zona que compreende, em teor em peso, cerca de 1,8 a 11% de Cromo (e preferencialmente entre cerca de 2,3 e 10% de Cromo), menos de 1% de Silício, e entre 0,20 e 0,45% de Manganês. Verificou-se ser possível ajustar os teores da composição de acordo com um modelo predeterminado, escolhido para obter características de corrosão substancialmente ótimas em condições dadas de desempenhos em alta temperatura. Esse modelo pode fazer intervir como adição ou como resíduo pelo menos um elemento escolhido entre o molibdênio, o tungstênio, o cobalto e o níquel.



Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**COMPOSIÇÕES DE AÇOS PARA USOS ESPECIAIS**".

5 A presente invenção refere-se a uma nova composição de aço para usos especiais, em especial de altos desempenhos na presença de corrosão por meios oxidantes tais como, por exemplo, fumaças ou vapor de água, sob pressão e/ou temperatura elevadas.

10 Ambientes de pressão e temperatura elevadas na presença de vapor de água existem notadamente em produção industrial da eletricidade. A geração, o acondicionamento (notadamente o superaquecimento e o re-superaquecimento) e o transporte do vapor de água são feitos com o auxílio de elementos feitos de aço, em especial tubos sem soldadura. Apesar de uma longa história de soluções consideradas ou executadas, sobre a qual se voltará, sérios problemas permanecem em termos de resistência no ambiente em questão, assim como no tempo.

15 Esses problemas são especialmente difíceis de resolver, devido notadamente à variabilidade significativa das propriedades dos aços em função de seus constituintes, e do peso dos ensaios de corrosão a quente em um longo período.

20 Na seqüência do presente documento o termo "corrosão" ou "corrosão a quente" será empregado para designar os fenômenos de perda de metal por oxidação a quente.

A presente invenção vem melhorar a situação.

25 A invenção propõe uma composição de aço para aplicações especiais, que se situa na zona que compreende, em teor em peso, cerca de 1,8 a 11% de Cromo (e preferencialmente entre cerca de 2,3 e 10% de Cromo), menos de 1% de Silício, e entre 0,20 e 0,45 de Manganês. Revelou-se possível ajustar os teores da composição de acordo com um modelo prede-

30 modelo pode fazer intervir como adição ou como residual pelo menos um elemento escolhido entre o molibdênio, o tungstênio, o cobalto e o níquel.

Mais especialmente, a composição compreende um teor de silí-

cio em peso compreendido entre cerca de 0,20 e 0,50%, de preferência entre cerca de 0,30 e 0,50%. Ela pode compreender também um teor de manganês em peso compreendido entre cerca de 0,25 e 0,45%, e mais preferencialmente entre cerca de 0,25% e 0,40%.

5 De acordo com um outro aspecto da invenção, o dito modelo compreende pelo menos um termo de contribuição do cromo, e um termo de contribuição do manganês sozinho. O termo de contribuição do manganês sozinho pode compreender uma função polinomial do segundo grau do teor em manganês. O termo de contribuição do cromo pode compreender um
10 termo quadrático em inverso do teor em cromo, e um termo em inverso de uma quantidade que contém o teor em cromo.

De acordo com modos de realização preferenciais, que serão descrito mais em detalhe:

- a composição de aço compreende entre 2,3 e 2,6% em peso
15 de Cromo, aproximadamente.

- a composição de aço compreende entre 8,9 e 9,5% a 10% em peso de Cromo, aproximadamente.

A invenção cobre também um tubo sem soldadura ou seu acessório, essencialmente constituído por uma composição de aço proposta, a
20 aplicação da composição de aço em tubos sem soldaduras e acessórios, destinados a gerar, a veicular ou a acondicionar vapor de água sob pressão e temperatura elevadas, assim como a técnica descrita para otimizar as propriedades das composições de aços especiais, em especial para a aplicação dos mesmos em tubos sem soldadura e acessórios, destinados a gerar, a
25 veicular ou a acondicionar vapor de água sob pressão e temperatura elevadas.

Outras características e vantagens da invenção aparecerão melhor com a leitura da descrição detalhada abaixo, feita em referência aos desenhos anexos, nos quais:

30 - a figura 1 ilustra esquematicamente o desenrolar no tempo de um primeiro mecanismo de oxidação, dito aqui de <tipo 1>;

- a figura 2 ilustra esquematicamente o desenrolar no tempo de

um segundo mecanismo de oxidação, dito aqui de <tipo 2>;

- a figura 3 é um gráfico ilustrativo de propriedade de composições de aço;

5 - a figura 4 é uma tabela de composições de aço, que foram objeto de medições de corrosão a longo prazo a 650°C, métricas essas que figuram na última coluna da tabela;

- a figura 5 é um gráfico que representa uma correspondência entre dados medidos e dados calculados; e

- a figura 6 é um gráfico que forma detalhe parcial da figura 5.

10 Os desenhos, a descrição abaixo e seus anexos contêm, essencialmente, elementos de caráter certo. Eles poderão portanto não somente servir para fazer compreender melhor a invenção, mas também contribuir para sua definição, se for o caso.

15 Agora são examinadas as condições nas quais a invenção pode ser aplicada.

É considerado por exemplo o caso de uma central térmica de combustível fóssil, que compreende uma caldeira de potência que fornece vapor de água superaquecido a uma turbina a vapor acoplada a um alternador. É conhecido o bom rendimento térmico desse gênero de centrais térmicas, que procura-se por outro lado tornar cada vez menos poluentes, limitando para isso os rejeitos tanto de fumaças quanto de gases nocivos tais como o SO₂, os NO_x e o CO₂, esse último sendo mais especialmente responsável pelo efeito estufa. Logo a redução da quantidade relativa de CO₂ produzida por ocasião da combustão passa pelo aumento do rendimento da caldeira, que está ligado à temperatura e à pressão do vapor fornecido pela turbina.

20

25

O vapor de água sendo essencialmente confinado em tubos sem soldadura feitos de aço, procurou-se já faz numerosos anos melhorar as características de resistência a longo prazo dos tubos à pressão interna de fluido em alta temperatura melhorando para isso sua resistência à fluência e notadamente a resistência à ruptura por fluência em 100 000 horas.

30

O dito grupo American Society for Testing and Materials

("ASTM") estabeleceu normas ou especificações nas quais os profissionais vão buscar informações para a escolha de seus aços. Tratando-se de aços especiais para uso em alta temperatura, são:

5 - a especificação A213, intitulada "Standard Specification for Seamless Ferritic and Austenitic Alloy-Steel Boiler, Superheater and Heat-Exchanger Tubes" e

- a especificação A335: "Standard Specification for Seamless Ferritic and Austenitic Alloy-Steel Pipe for High-Temperature Service".

10 As caldeiras dos anos 1960 empregavam aços não ligados para os painéis de tela da caldeira e nuanças a 2,25% Cr e 1% Mo (nuanças T22 da ASTM A213 e P22 da ASTM A335) para as partes quentes dos tubos de superaquecedores e os condutos de vapor superaquecido 16 MPa (160 bars) – 560°C.

15 Os aços inoxidáveis austeníticos a 18% Cr e 10% Ni possuem intrinsecamente melhores características de resistência à fluência do que as nuanças mais fracamente ligadas de estrutura ferrítica mas possuem graves inconvenientes devido ao fato de que uma mesma caldeira deve então compreender partes feitas de aço de estrutura austenítica e outras de estrutura ferrítica: disso decorre por um lado diferenças de coeficientes de dilatação
20 térmica, e por outro lado a necessidade de realizar junções soldadas entre tubos de estrutura metalúrgica diferente.

A tendência foi portanto para a melhora dos materiais de estrutura ferrítica.

25 O aço X 20 Cr Mo V 12 – 1 a 12% Cr de acordo com a norma alemã DIN 17.175 não está mais muito em voga pois sua execução é muito delicada e suas características de fluência são ultrapassadas.

Os anos 1980 viram o aparecimento nas normas de nuanças a 9% Cr microligadas (T91 e P91, T92 e P92 de acordo com ASTM A213 e A335) que possuem ao mesmo tempo uma boa resistência à fluência e excelentes propriedades de utilização.
30

Em paralelo, apareceram nos anos 1990, nuanças a 2,25% Cr microligadas (T23, P23, T24, P24) para melhorar os desempenhos dos pai-

néis de telas e/ou de certas partes dos superaquecedores.

Apresentaram-se então problemas de resistência à oxidação a quente, notadamente no caso dos aços a 9% Cr em comparação com o aço X 20 Cr Mo V 12 – 1 que contém 12% Cr. É sabido de fato que o Cr e também o Si e o Al são elementos que reduzem a oxidação a quente.

O termo "oxidação a quente" agrupa 2 tipos de fenômenos:

- a oxidação pelas fumaças oxidantes, e
- a oxidação pelo vapor de água.

Oxidação na Superfície Exterior dos Tubos

Os fenômenos de oxidação pelas fumaças oxidantes se produzem no exterior dos tubos e mais especialmente no exterior dos tubos de superaquecedores considerando-se os fluxos de fumaças que esses tubos vêm passar.

Eles se traduzem por uma perda de espessura de metal e devido a isso por um aumento da tensão tangencial σ no tubo que pode ser descrita pela relação [11] anexa, na qual D é o diâmetro exterior, e é a espessura e P a pressão interna de vapor na parte de dentro dos tubos.

A cinética de oxidação é ainda mais rápida quanto mais fina for a camada de óxido (ou calamina). Poderia portanto acreditar que ela se auto-elimina com o crescimento da camada de calamina. Infelizmente, quando a camada de calamina é espessa, ela perde aderência e se solta em folhas (esfoliação). Disso resulta que a oxidação recomeça rapidamente o metal está puro.

Um metal que tem uma cinética de oxidação lenta e própria para formar calaminas finas e aderentes é portanto bastante desejável.

Oxidação na Superfície Interna dos Tubos

O mesmo acontece por outras razões para os fenômenos de oxidação pelo vapor de água que se manifestam na parte de dentro dos tubos e que foram mais recentemente estudados. De fato, a calamina formada na parte de dentro dos tubos dos superaquecedores constitui um isolante térmico entre as fumaças (fonte de calor) e o vapor de água a superaquecer. E a calamina espessa no lado do vapor (parte de dentro do tubo) se traduz

por uma temperatura mais elevada do metal do que quando a lamina é fina. Logo a influência negativa da temperatura sobre a resistência à fluência é exponencial.

5 Com característica de resistência à fluência idêntica, um tubo feito de aço que resiste à oxidação pelo vapor poderá portanto superaquecer o vapor a uma temperatura mais alta do que um tubo feito de aço menos resistente à oxidação pelo vapor.

Por outro lado, em caso de lamina espessa e/ou pouco aderente, uma esfoliação dessa última pode ter como consequência:

10 - no caso dos tubos de superaquecedores uma acumulação da lamina esfoliada nos grampos das serpentinas de superaquecedores, que entrava a circulação de vapor e que pode causar explosões de tubos superaquecedores por superaquecimento catastrófico,

15 - um arrastamento da lamina esfoliada, proveniente tanto dos tubos superaquecedores quanto dos coletores de vapor ou dos condutos de vapor, nas pás da turbina com um risco de erosão e/ou abrasão e de destruição dessas últimas.

Estado da Técnica

20 No momento, os códigos de cálculo de caldeira não levam em consideração de maneira fina as características de resistência à oxidação a quente (são utilizadas regras empíricas que definem de maneira pessimista demais uma sobre-espessura para a oxidação a quente tanto pelas fumaças quanto pelo vapor de água).

Abordagem da Requerente

25 No WO 02/081766, a Requerente propôs uma composição de aço para tubos sem soldadura que tem propriedades muito boas em termos tanto de resistência à ruptura por fluência, quanto de resistência à oxidação a quente.

30 Essa composição é designada comercialmente VM12. Ela surpreendeu os inventores no que diz respeito à resistência à oxidação a quente pelo vapor a 600°C e 650°C, que é muito superior àquela dos aços a 9% Cr, igual e mesmo superior àquela do aço X 20 Cr Mo V 12-1 que contém

também 12% Cr e quase tão boa quanto aquela da nuança austenítica TP 347 FG que contém 18% Cr.

Resultados experimentais obtidos na Escola de Minas de Douai foram apresentados na conferência "High Temperature Corrosion and Protection of Materials 6", Les Embiez 2004, e foram publicados em Materials Science Forum, Vol 461-464 (2004) p. 1039-1046, sob o título "Steam Corrosion Resistance of New 12% Ferrita Boiler Steels".

Os autores (V. Lepingle et al.) observaram que é difícil prever de maneira quantitativa a cinética de oxidação a quente, os elementos da composição química do aço podendo ter uma influência não linear, e mesmo funcionar em sinergia.

Eles notadamente revelaram a existência de dois tipos distintos de mecanismos de crescimento que intervêm na oxidação a quente, ilustrados nas Figuras 1 e 2.

A figura 1 ilustra o mecanismo que rege classicamente a oxidação a quente dos aços 9-12% Cr. Como pode ser visto, o óxido germina de maneira homogênea no conjunto da superfície.

O mecanismo da figura 2 é relativo à nuança VM 12, a certas composições de aço X 20 Cr Mo V 12-1 e à nuança austenítica TP 347 FG de grãos finos: aqui, o óxido nasce sob a forma de germes isolados que devem se desenvolver na superfície antes de constituir uma camada e se desenvolver em profundidade. Esse mecanismo leva a cinéticas lentas de oxidação e a calaminas aderentes.

Outros trabalhos também se interessaram em prever a cinética de oxidação a quente pelo vapor de água.

Uma comunicação de Zurek et al. foi também apresentada na conferência Les Embiez e publicada em Materials Science Forum, Vol 461-464 (2004) p. 791-798. Ela mostra quantitativamente a influência de diversos elementos químicos sobre a variação da constante K_p da lei de oxidação empírica

$$\Delta m = K_p t^z$$

em que Δm é o aumento de massa por oxidação e t o tempo, enquanto que z

é geralmente tomado igual a 1/2. A constante Kp apresentando uma diminuição brutal acima de um certo teor em cromo.

As principais conclusões que podem ser tiradas de Zurek et al. são as seguintes (ver a figura 3):

5 - a adição de manganês desloca para a direita a zona de forte diminuição de Kp em função do teor em cromo. De acordo com esse trabalho, a adição de Mn tende a contrariar o efeito benéfico do Cr;

10 - a adição de silício ou de cobalto desloca ao contrário para a esquerda a zona de forte diminuição de Kp em função do teor em cromo. De acordo com esse trabalho, Si e Co têm uma influência benéfica que estende o domínio de ação do Cr.

Compreende-se que é difícil de tirar daí indicações precisas sobre as propriedades de tal ou tal liga.

15 Osgerby et al. (S. Osgerby, A. Fry "Assessment of steam oxidation behaviour of high temperature plant materials" proceedings from the 4th international EPRI conference, Outubro 25-28, 2004 – Hilton Head Island, South Carolina – pp 388-401) também estudaram a oxidação de diversos aços e ligas de Ni pelo vapor de água. Eles efetuaram sobre os resultados um tratamento com o auxílio de redes de neurônios. Eles chegaram a equações que no caso dos aços ferríticos a 9 – 12% Cr mostram quantitativamente uma influência positiva de Cr, Si, Mn e Mo e uma influência negativa de W.

20

25 Globalmente, as conclusões desses trabalhos são diversas, e mesmo opostas no que diz respeito ao caso do manganês nos aços ferríticos.

A Requerente procurou fazer melhor, e em especial obter elementos quantitativos que permitem melhorar os aços existentes, notadamente aqueles a 9% Cr dos quais a resistência à oxidação é considerada até agora insuficiente e aqueles a 2,25% Cr.

30 Experimentações da Requerente

A escola de Minas de Douai primeiramente desenvolveu na ocasião de um contrato de estudo com a Requerente uma fórmula de previsão

da perda de espessura de metal (determinada depois de decapagem do óxido formado sem ataque do metal) em um ano a partir de uma modelação da influência do conjunto dos elementos da composição química.

Essa fórmula dita LPL (Lowest Protective Layer of Scale) não está publicada e os termos da mesma não são conhecidos pela Requerente.

A Requerente simplesmente pôde constatar diferenças notáveis entre os resultados experimentais e os resultados obtidos por aplicação da fórmula LPL, que lhe foram comunicados.

A Requerente portanto retomou as medições da cinética de oxidação a quente pelo vapor de água a 650°C apresentadas na conferência Les Embiez 2004 (ver acima) em 16 amostras de aços de estrutura ferrítica (ferrita + perlita, bainita revenida, martensita revenida) cujo teor em Cr vai de 2,25% (T22 – T23) a 13%. A figura 4 é uma tabela de composição dos aços testados com, na última coluna, os valores das medições de corrosão que correspondem à perda de espessura de metal em um ano (velocidade de corrosão V_{cor}) para esses aços.

O termo "ND" na tabela da figura 4 significa "não disponível".

A Requerente realizou nesses resultados experimentais uma análise estatística multidimensional. Ela se baseou em uma pluralidade de termos que traduzem uma abordagem empírica ponderada de certos mecanismos ou influências, que determinam a velocidade de corrosão V_{cor} .

Depois de vários ensaios, a Requerente obteve a fórmula [21] anexa, que exprime a velocidade de corrosão V_{cor} a 650°C, no longo prazo, quer dizer em um período da ordem de um ano.

A fórmula [21] dá a perda de espessura média de metal (em mm) em um ano de exposição ao vapor de água a 650°C. Essa perda de espessura média é ela própria deduzida de uma perda de peso do metal depois de decapagem seletiva do óxido, em condições padrão. A fórmula [21] compreende diferentes termos precisados como se segue:

Termo	Influência representada
$1/Cr^2$	representa principalmente a influencia do teor em cromo, aqui uma dependência inversa ao quadrado do teor em cromo

Termo	Influência representada
1/A	representa principalmente a influência dos teores em molibdênio, tungstênio, níquel e cobalto, considerando-se uma interação com o teor em cromo
B	representa principalmente a influência do teor em silício, aqui também considerando-se uma interação como teor em cromo
C	representa principalmente a influência do teor em manganês, considerando-se interações com os teores em tungstênio e o níquel

Os teores da fórmula [21] são expressos em% em peso (ou em massa).

Os coeficientes α (alfa), β (beta) e δ (delta) e aqueles que intervêm nas expressões B e C têm substancialmente os valores indicados no anexo 1, seção 3, expressões [31] a [36].

Ao lado disso, se a fórmula [21] é examinada globalmente, é revelado que ela compreende notadamente:

- uma função do teor em cromo que compreende um termo em $1/Cr^2$ com um termo de aspecto em $1/Cr$ (termo 1/A), e um termo corretor em Cr (termo B),

- uma função polinomial (aqui do segundo grau) do teor em Manganês (termo C),

- uma contribuição conjunta (anotada q) de W + Ni (tungstênio + níquel) que é por um lado em $1/-q$ no termo A, e por outro lado em q no termo C.

- os outros teores só intervêm uma única vez, de uma maneira que se lê diretamente na fórmula.

As figuras 5 e 6 ilustram como essa nova fórmula V_{cor} em ordenadas (V_{cor} predito) se compara com os resultados experimentais conhecidos pela Requerente em abscissas (V_{cor} medido). Disso resulta;

- na figura 5 (parte da direita), que a correspondência é excelente para teores em Cromo próximos de 2,25%,

- na figura 5 (parte da esquerda), assim como na figura 6, que é um detalhe da parte da esquerda da figura 5, que a correspondência é também excelente para teores em Cromo próximos de 9% e 12%.

Em poucas palavras, a modelação e a experiência dão resultados notavelmente concordantes. Bem evidentemente, a invenção não está limitada à expressão da fórmula [21], da qual é sabido escrever equivalentes de aspecto diferente. É possível também escrever equivalentes simplificados da mesma, de um uso mais local (em termos de intervalos de teores), considerando-se as propriedades de variação de cada um dos termos, ou de seus elementos. Finalmente, se a fórmula [21] foi estabelecida a 650°C, ela é naturalmente válida para outras temperaturas, inferiores ou superiores. Por exemplo, uma nuance de aço que tem uma velocidade de corrosão mais elevada a 650° poderá ser aceitável a temperaturas inferiores, se ela tem propriedades interessantes de um ponto de vista qualquer, inclusive um custo de fabricação menor.

Mais finamente, a Requerente constatou uma forte influência nefasta do teor em Mn acima de cerca de 0,25%, de acordo com as indicações da fórmula [21] (intervalo de teores estudado: 0,2 – 0,53%). Ela também constatou que o teor em Si influencia pouco quando Si é superior ou igual a 0,20% (intervalo de teores estudado: 0,09 – 0,47%). Ela também notou a ausência de influência significativa do teor em carbono dentro dos limites estudados (0,1 – 0,2%).

A Requerente se interessou então em procurar entre as nuances de bom desempenho ferríticas das especificações ASTM, A213 e A335 para uso em caldeiras (T91, P91, T92, P92, T23, P23, T24, P24) domínios especiais de composição química que levam a calaminas finas e muito aderentes que permitem fazer trabalhar melhor os tubos em temperaturas de vapor da ordem de 600°C, e mesmo 650°C e pressões de vapor da ordem de 3 MPa (300 bars).

Em geral, os fabricantes de tubos encomendam até agora seu aço na parte de baixo dos intervalos de teor em cromo, considerando o custo desse elemento e seu caráter alfacêmico desse elemento. Por exemplo, para um intervalo teórico de 8,00 a 9,50% para o grau T91 do ASTM A213, os fabricantes de tubos encomendam um aço que contém em torno de 8,5% Cr, o que minimiza o risco de presença de ferrita delta no produto.

No que diz respeito ao manganês, é sabido que ele permite fixar o enxofre do aço, e que essa fixação evita problemas de capacidade para a forjadura (queimadura do aço). Assim, enquanto que o intervalo do ASTM A213 é de 0,30 – 0,60% para o grau T91, é habitual elaborar os aços para uso em alta temperatura com teores em manganês próximos de 0,50%, portanto na parte de cima desse intervalo.

Em geral, as nuanças de aço propostas aqui para tubos sem soldadura destinados a veicular vapor de água sob pressão e temperatura elevadas compreendem (em peso) 1,8 a 13% de cromo (Cr), menos de 1% de silício (Si) e entre 0,10 e 0,45% de manganês (Mn). Em opção, o aço compreende uma adição de pelo menos 1 elemento escolhido entre o molibdênio (Mo), o tungstênio (W), o cobalto (Co), o vanádio (V), o nióbio (Nb), o titânio (Ti), o boro (B) e o nitrogênio (N).

Pelo exame da experiência adquirida, a Requerente se focalizou em dois grupos de nuanças de bom desempenho em fluência pois ligadas com Mo ou com W e microligadas (Nb, V, N e eventualmente B e Ti) e melhoráveis do ponto de vista da oxidação a quente. Eles são:

- primeiro grupo: os aços a 2,25% Cr: graus T/P22, T/P23, T/P24
- segundo grupo: os aços a 9% Cr: graus T/P91, T/P92.

Disso resultou a identificação de nuanças de aços especiais especialmente vantajosas em termos de velocidade de corrosão, como vai ser visto agora.

Modo de realização E10: aços T22 e P22

As normas ASTM A213 e A335 definem respectivamente os graus T22 e P22 como contendo:

- 0,30 a 0,60% Mn
- no máximo 0,50% Si
- 1,90 a 2,60% Cr
- 0,87 a 1,13% Mo
- 0,05 a 0,15% C
- no máximo 0,025% S
- no máximo 0,025% P

Tratando-se de graus antigos, eles não contêm micro-adições de Ti, Nb, V e B.

Na tabela T10 abaixo, as colunas 2 a 7 precisam as composições para um aço de referência do domínio, e para três outros aços propostos (designados na coluna 1). Na coluna Vcor medida, "ND" significa não disponível. Será compreendido que os ensaios exigidos para determinar uma velocidade de corrosão confiável e precisa em alta temperatura em um ano são especialmente longos, delicados e dispendiosos.

Para o aço de referência (R10), é visto que o valor medido e o valor predito pela fórmula [21] se correspondem quase exatamente. A fórmula [21] sendo assim verificada, tira-se dela indicações sobre outras nuanças de aço desse modo de realização E10. Essas outras nuanças são representadas por três exemplos, anotados E10-max, E10-med e E10-min, de acordo com a velocidade de corrosão obtida.

15 Tabela T10

	Mn	Si	Cr	Mo	W	Ni	Co	Vcor medido	Vcor Calculado
Referência (R10)	0,46	0,23	2,06	1	0,014	0,15	-	1,035	1,04
E10-max	0,45	0,20	2,30	1,0	-	0,2	-	ND	0,86
E10-min	0,30	0,45	2,60	0,9	-	0,1	-	ND	0,61
E10-med1	0,40	0,20	2,30	1,0	-	0,2	-	ND	0,83
E10-med2	0,35	0,30	2,45	0,95	-	0,15	-	ND	0,70

A seleção de nuanças E10 permite um ganho compreendido entre 18% (para E10-max) e 42% (para E10-min), em relação à velocidade de corrosão da composição "referência" R10.

Nesse modo E10, o aço compreende entre 2,3 e 2,6% Cr.

20 Preferencialmente, o aço do modo E10 compreende um teor em Si compreendido entre 0,20 e 0,50% e muito preferencialmente entre 0,30 e 0,50%. Preferencialmente, o aço compreende um teor em Mn compreendido entre 0,30 e 0,45%.

25 O aço de acordo com esse modo E10 compreende preferencialmente entre 0,87 e 1% Mo. Ele não compreende adição voluntária de W, o

tungstênio sendo um residual do aço e seu teor da ordem de 0,01%.

Muito preferencialmente, o aço de acordo com o modo E10 possui teores em Cr, Mn, Si, Mo, W, Ni, Co cujo valor V_{cor} calculado de acordo com a equação [21] é no máximo igual a cerca de 0,9 mm/ano, de preferência 0,85 mm/ano. Melhores resultados são obtidos para V_{cor} no máximo igual a 0,7 mm/ano.

Modo de realização E11: aços T23 e P23

As normas ASTM A213 e A335 definem respectivamente os graus T23 e P23 como contendo:

- 10 - 0,10 a 0,60% Mn
- no máximo 0,50% Si
- 1,90 a 2,60% Cr
- 0,05 a 0,30% Mo
- 1,45 a 1,75% W
- 15 - 0,04 a 0,10% C
- no máximo 0,030% P
- no máximo 0,010% S
- 0,20 a 0,30% V
- 0,02 a 0,08% Nb
- 20 - 0,0005 a 0,006% B
- no máximo 0,030% de N
- no máximo 0,030% det al.

A substituição de uma grande parte do molibdênio pelo tungstênio e as micro-adições dão a esses graus características de resistência à fluência muito melhoradas em relação aos graus T/P22. Uma tal melhora não permite em contrapartida aumentar o limite superior de resistência em temperatura em relação à oxidação a quente.

Na tabela T11 abaixo, as colunas 2 a 7 precisam as composições para um aço de referência do domínio, e para três outros aços propostos (designados na coluna 1). Para o aço de referência, é visto que o valor medido e o valor predito pela fórmula [21] se correspondem exatamente. A fórmula [21] sendo assim verificada, tira-se dela indicações sobre as três

outras nuances de aço desse modo de realização E11, anotadas E11-max, E11-med e E11-min, de acordo com a velocidade de corrosão obtida.

Tabela T11

	Mn	Si	Cr	Mo	W	Ni	Co	Vcor medido	Vcor Calculado
Referência (R11)	0,48	0,24	2,07	0,10	1,54	0,05	-	1,43	1,43
E11-max	0,45	0,20	2,30	0,20	1,60	0,10	-	ND	1,26
E11-min	0,25	0,50	2,60	0,05	1,45	0,02	-	ND	0,70
E11-med1	0,40	0,20	2,30	0,10	1,60	0,10	-	ND	1,12
E11-med2	0,30	0,30	2,45	0,10	1,50	0,05	-	ND	0,84

5 A seleção de nuances E11 permite um ganho compreendido entre 12% (para E11-max) e 51% (para E11-min), em relação à velocidade de corrosão da composição "referência".

Nesse modo E11, o aço compreende entre 2,3 e 2,6% Cr.

10 Preferencialmente, o aço do modo E11 compreende um teor em Si compreendido entre 0,20 e 0,50% e muito preferencialmente entre 0,30 e 0,50%. Preferencialmente, o aço compreende um teor em Mn compreendido entre 0,25 e 0,45%.

O aço de acordo com esse modo E11 compreende preferencialmente entre 1,45 e 1,60% W e entre 0,05 e 0,20% Mo.

15 Muito preferencialmente, o aço de acordo com o modo E11 possui teores em Cr, Mn, Si, Mo, W, Ni, Co cujo valor Vcor calculado de acordo com a equação [21] é inferior a cerca de 1,4 mm/ano, de preferência no máximo igual a cerca de 1,25 mm/ano. Melhores resultados são obtidos para Vcor no máximo igual a cerca de 0,9 mm/ano.

Modo de Realização E12: aços T24/P24

20 Esses aços contêm de acordo com a norma ASTM A213:

- 0,30 a 0,70% Mn

- 0,15 a 0,45% Si

- 2,20 a 2,60% Cr

- 0,70 a 1,10% Mo

25 - 0,04 a 0,10% C

- no máximo 0,020% P
- no máximo 0,010% S
- 0,20 a 0,30% V
- 0,06 a 0,10% Ti
- 5 - 0,0015 a 0,0020% B
- no máximo 0,012% N
- no máximo 0,020% Al.

A tabela T12 abaixo é construída de maneira semelhante às tabelas T10 e T11.

10 Tabela T12

	Mn	Si	Cr	Mo	W	Ni	Co	Vcor medido	Vcor Calculado
Referência (R12)	0,50	0,25	2,30	0,85	-	0,05	-	ND	0,83
E12-max	0,45	0,25	2,40	0,90	-	0,10	-	ND	0,76
E12-min	0,30	0,45	2,60	0,70	-	0,02	-	ND	0,58
E12-med	0,40	0,30	2,50	0,80	-	0,05	-	ND	0,67

O ganho é mais limitado na seleção de acordo com a invenção: de 9% (E12-max) a 30% (E12-min). É estimado que isso se deve essencialmente ao fato de que a margem no teor em Cr é menor do que para os modos de realização E10 ou E11.

- 15 De acordo com esse modo E12, o aço compreende entre 2,4 e 2,6% Cr. Preferencialmente, o aço compreende um teor em Si compreendido entre 0,20 e 0,45% e muito preferencialmente entre 0,30 e 0,45%. Preferencialmente, o aço compreende um teor em Mn compreendido entre 0,30 e 0,45%.

- 20 O aço de acordo com esse modo E12 não compreende adição de W (teor em tungstênio residual da ordem de 0,01%); seu teor em Mo é de preferência compreendido entre 0,70 e 0,9%.

- Muito preferencialmente, o aço de acordo com esse modo E12 possui teores em Cr, Mn, Si, Mo, W, Ni, Co cujo valor Vcor calculado de acordo com a equação [21] é no máximo igual a cerca de 0,8 mm/ano e de preferência no máximo igual a cerca de 0,75 mm/ano. Melhores resultados
- 25

são obtidos para Vcor no máximo igual a 0,7 mm/ano.

5 Será observado que os modos E10, E11 e E12 (globalmente anotados E1) são bastante próximos, em termos de teor em Cromo, Manganês e Silício. Assim, outros teores em Cr, Mn e/ou Si de um desses modos E1 podem ser aplicados pelo menos parcialmente a um outro modo E1.

Modo de Realização E20: aços T9 e P9

As normas ASTM A213 e A335 definem respectivamente os graus T9 e P9 como contendo:

- 10 - 0,30 a 0,60% Mn
- 0,25 a 1,00% Si
- 8,00 a 10,00% Cr
- 0,90 a 1,10% Mo
- no máximo 0,15% C
- no máximo 0,025% P
- 15 - no máximo 0,025% S.

Em relação aos modos de realização E21 e E22 expostos mais adiante no texto, os aços de acordo com o modo de realização E20 não contêm micro-adições de V, Nb, N ou B.

20 Na tabela T20 abaixo, as colunas 2 a 7 precisam as composições para um aço de referência do domínio, e para três outros aços propostos (designados na coluna 1). Na coluna Vcor medida, "ND" significa não disponível. Será compreendido que os ensaios exigidos para determinar uma velocidade de corrosão confiável e precisa em alta temperatura em um ano são especialmente longos, delicados e dispendiosos.

25 Foram tiradas da fórmula [21] indicações sobre diferentes nuanças de aço desse modo de realização E20. Essas nuanças são representadas por três exemplos, anotados E20-max, E20-med e E20-min, de acordo com a velocidade de corrosão obtida.

Tabela T20

	Mn	Si	Cr	Mo	W	Ni	Co	Vcor Medido	Vcor Calculado
Referência (R20)	0,50	0,30	8,50	0,95	0,01	0,15	-	ND	0,137
E20-max	0,45	0,25	9,20	1,00	0,01	0,2	-	ND	0,089
E20-min	0,30	0,45	10,00	0,90	0,01	0,02	-	ND	0,012
E20-med1	0,35	0,40	9,60	0,95	0,01	0,15	-	ND	0,034
E20-med2	0,40	0,35	9,40	0,95	0,01	0,15	-	ND	0,060

A seleção das nuances E20 permite um ganho compreendido entre 16% (para E20-max) e 89% (para E20-min), em relação à velocidade de corrosão da composição "referência" R20.

5 Nesse modo E20, o aço compreende entre 9,2 e 10,00% Cr.

Preferencialmente, o aço do modo E20 compreende um teor em Si compreendido entre 0,25 e 0,50% e muito preferencialmente entre 0,30 e 0,40%. Preferencialmente, o aço compreende um teor em Mn compreendido entre 0,30 e 0,45%.

10 O aço de acordo com esse modo E20 compreende preferencialmente entre 0,90 e 1,00% Mo. Ele não compreende adição voluntária de W, o tungstênio sendo um residual do aço e seu teor da ordem de 0,01%.

Muito preferencialmente, o aço de acordo com o modo E20 possui teores em Cr, Mn, Si, Mo, W, Ni, Co cujo valor Vcor calculado de acordo com a equação [21] é no máximo igual a cerca de 0,09 mm/ano, de preferência 0,06 mm/ano. Melhores resultados são obtidos para Vcor no máximo igual a cerca de 0,04 mm/ano.

Modo de realização E21: aços T91/P91

20 Esses aços contêm de acordo com as normas ASTM A213 e A335:

- 0,30 a 0,60% Mn
- 0,20 a 0,50% Si
- 8,00 a 9,50% Cr
- 0,85 a 1,05% Mo
- 25 - no máximo 0,40% Ni

- 0,08 a 0,12% C
- no máximo 0,020% P
- no máximo 0,010% S
- 0,18 a 0,25% V
- 0,06 a 0,1% Nb
- 0,030 a 0,070% N
- no máximo 0,040% Al.

5

A tabela T21 abaixo é construída de maneira semelhante à tabela T10.

10 Tabela T21

	Mn	Si	Cr	Mo	W	Ni	Co	Vcor medido	Vcor Calculado
Referência (R21)	0,46	0,31	8,73	0,99	0,01	0,26	-	0,094	0,106
E21-max	0,45	0,3	8,90	0,95	-	0,20	-	ND	0,095
E21-min	0,30	0,50	9,50	0,85	-	0,02	-	ND	0,021
E21-med	0,40	0,35	9,00	0,90	-	0,05	-	ND	0,066

O ganho na seleção desses modos de realização E21 vai de 10% (E21-max) a 80% (E21-min). É notável que, para E21-min, o valor obtido é cinco vezes menor do que o valor de referência.

De acordo com esse modo E21, o aço compreende entre 8,9 e 9,5% Cr.

Preferencialmente, o aço compreende um teor em Si compreendido entre 0,20 e 0,50% e muito preferencialmente entre 0,30 e 0,50%.

Preferencialmente, o aço compreende um teor em Mn compreendido entre 0,30 e 0,45%. Ele compreende preferencialmente entre 0,85% e 0,95% Mo.

Preferencialmente, o aço de acordo com esse modo E21 compreende no máximo 0,2% Ni (e muito preferencialmente no máximo 0,1%), e praticamente nenhum tungstênio (residual da ordem de 0,01%).

Muito preferencialmente, o aço de acordo com o modo E21 possui teores em Cr, Mn, Si, Mo, W, Ni, Co cujo valor Vcor calculado de acordo com a equação [21] é inferior a cerca de 0,1 mm/ano. Melhores resultados

25

são obtidos para Vcor no máximo igual a 0,07 mm/ano.

Modo de Realização E22: aços T92/P92

Esses aços contêm de acordo com as normas ASTM A213 e A335:

- 5 - 0,30 a 0,60% Mn
- no máximo 0,50% Si
- 8,50 a 9,50% Cr
- 0,30 a 0,60% Mo
- 1,50 a 2,00% W
- 10 - no máximo 0,40% Ni
- 0,07 a 0,13% C
- no máximo 0,020% P
- no máximo 0,010% S
- 0,15 a 0,25% V
- 15 - 0,04 a 0,09% Nb
- 0,001 a 0,006% B
- 0,30 a 0,070% N
- no máximo 0,040% Al.

A tabela T22 abaixo é construída de maneira semelhante à tabela T10.

Tabela T22

	Mn	Si	Cr	Mo	W	Ni	Co	Vcor medido	Vcor Calculado
Referência (R22)	0,41	0,22	8,51	0,44	1,69	0,13	-	0,113	0,113
E22-max	0,40	0,25	8,90	0,45	1,70	0,20	-	ND	0,11
E22-min	0,30	0,50	9,50	0,30	1,50	0,02	-	ND	0,055
E22-med	0,35	0,30	9,20	0,40	1,70	0,1	-	ND	0,082

Aqui, o ganho na seleção desses modos de realização E22 vai de 2% (E22-max) a 52% (E22-min).

De acordo com esse modo de realização E22, o aço compreende entre 8,9 e 9,5% Cr.

Preferencialmente, o aço do modo E22 compreende um teor em Si compreendido entre 0,20 e 0,50% e muito preferencialmente entre 0,30 e 0,50%.

5 Preferencialmente, o aço do modo E22 compreende um teor em Mn compreendido entre 0,30 e 0,45% e mais preferencialmente entre 0,30 e 0,40%.

O aço de acordo com o modo E22 compreende preferencialmente entre 0,30% e 0,45% Mo. Ele compreende entre 1,50 e 1,75% W.

10 Preferencialmente, o aço de acordo com o modo E22 compreende no máximo 0,2% Ni e muito preferencialmente no máximo 0,1%.

Muito preferencialmente, o aço de acordo com o modo E22 possui teores em Cr, Mn, Si, Mo, W, Ni, que, de acordo com a equação [21], dão um valor V_{cor} no máximo igual a cerca de 0,11 mm/ano. Melhores resultados são obtidos para V_{cor} no máximo igual a 0,08 mm/ano.

15 Será observado que os modos E21 e E22 (globalmente anotados E2) são bastante próximos, em termos de teor em Cromo, Manganês e Silício. Assim, os outros teores em Cr, Mn e/ou Si de um desses modos E2 podem ser aplicados pelo menos parcialmente ao outro.

Agora será considerada uma situação intermediária.

20 Modo de Realização E30: aços T5 e P5

As normas ASTM A213 e A335 definem respectivamente os graus T5 e P5 como contendo:

- 0,30 a 0,60% Mn
- no máximo 0,50% Si
- 25 - 4,00 a 6,00% Cr
- 0,45 a 0,65% Mo
- no máximo 0,15% C
- no máximo 0,025% P
- no máximo 0,025% S.

30 Na tabela T30 abaixo, as colunas 2 a 7 precisam as composições para um aço de referência do domínio, e para três outros aços propostos (designados na coluna 1). Na coluna V_{cor} medida, "ND" significa não

disponível. Será compreendido que os ensaios exigidos para determinar uma velocidade de corrosão confiável e precisa em alta temperatura em um ano são especialmente longos, delicados e dispendiosos.

5 Foram tiradas da fórmula [21] indicações sobre diferentes nuanças de aço desse modo de realização E30. Essas nuanças são representadas por três exemplos, anotados E30-max, E30-med e E30-min, de acordo com a velocidade de corrosão obtida.

Tabela T30

	Mn	Si	Cr	Mo	W	Ni	Co	Vcor Medido	Vcor Calculado
Referência (R30)	0,50	0,32	4,80	0,52	0,01	0,15	-	ND	0,269
E30-max	0,45	0,25	5,20	0,60	0,01	0,2	-	ND	0,228
E30-min	0,30	0,45	6,00	0,45	0,01	0,1	-	ND	0,122
E30-med1	0,40	0,30	5,40	0,55	0,01	0,15	-	ND	0,189
E30-med2	0,35	0,30	5,60	0,50	0,01	0,15	-	ND	0,159

10 A seleção das nuanças E30 permite um ganho compreendido entre 15% (para E30-max) e 55% (para E30-min), em relação à velocidade de corrosão da composição "referência" R30.

Nesse modo E30, o aço compreende entre 5,2 e 6,00% Cr.

15 Preferencialmente, o aço do modo E30 compreende um teor em Si compreendido entre 0,25 e 0,50% e muito preferencialmente entre 0,30 e 0,45%. Preferencialmente, o aço compreende um teor em Mn compreendido entre 0,30 e 0,45%.

O aço de acordo com esse modo E30 compreende preferencialmente entre 0,45 e 0,60% Mo. Ele não compreende adição voluntária de W, o tungstênio sendo um residual do aço e seu teor da ordem de 0,01%.

20 Muito preferencialmente, o aço de acordo com o modo E30 possui teores em Cr, Mn, Si, Mo, W, Ni, Co cujo valor Vcor calculado de acordo com a equação [21] é no máximo igual a cerca de 0,23 mm/ano, de preferência 0,20 mm/ano. Melhores resultados são obtidos para Vcor no máximo igual a cerca de 0,17 mm/ano.

25 O modelo utilizado leva a aumentar o teor em certos elementos

alfagênicos tais como Cr, Si e a reduzir o teor em certos elementos gamagênicos tais como Mn e Ni, o que pode favorecer o aparecimento de ferrita delta.

5 Se a redução de teor em Mo e/ou W (elementos alfa-gamagênicos) é insuficiente para compensar o aumento de teor em Cr, Si e a redução daquele em Mn e Ni do ponto de vista do aparecimento de ferrita delta, será preciso ajustar o teor em elementos gamagênicos como N e C que não intervêm no presente modelo. Serão utilizadas em relação a isso fórmulas conhecidas de previsão de ferrita delta em função dos teores em cromo equi-
10 valente e níquel equivalente.

A técnica proposta para otimizar aços especiais compreende os elementos seguintes. Parte-se de uma nuance ou grau de aço conhecido que tem propriedades conhecidas diferentes da corrosão a quente, que procura-se otimizar do ponto de vista corrosão a quente. Calcula-se uma propriedade de corrosão a longa prazo de acordo com um modelo tal como aquele da fórmula [21] em uma composição de referência. Procura-se na proximidade do aço conhecido um intervalo especial de composição da nuance de aço que leva a um melhor valor da propriedade de corrosão de acordo com o mesmo modelo.

20 Uma vez que o modelo é de grande confiabilidade, essa técnica tem numerosas vantagens, entre as quais:

- evitar fabricar aços não habituais somente para teste de corrosão,
- evitar os delicados e custosos testes de corrosão a longo prazo e alta temperatura.

25 Essa técnica permite sobretudo utilizar dados alvos e não excessivamente pessimistas para a concepção de caldeiras ou de tubulações de vapor e através disso minimizar a sobre-espessura de corrosão levada em consideração nos cálculos de concepção.

Ela permite por outro lado aumentar a temperatura de vapor com temperatura de metal dado e evitar as esfoliações de calamina favorecendo assim a germinação heterogênea e descontínua do óxido na superfície do aço no lado vapor.

O aço de acordo com a invenção pode também ser utilizado sem que a lista seja exaustiva como chapa para fabricar tubos soldados, conexões, reatores, peças de caldeiraria, como peça moldada para fabricar corpos de turbina ou corpos de válvulas de segurança, como peça forjada para fabricar eixos e rotores de turbina, conexões, como pós metálicos para realizar componentes diversos em metalurgia dos pós, como metal de complemento de soldadura e outras aplicações similares.

Anexo 1

Seção 1

$$\sigma = P \frac{(D - e)}{2 e} \quad (11)$$

10

Seção 2

$$V_{COR}^{650^{\circ}C} = \alpha \frac{1}{Cr^2} + \beta \frac{1}{A} + \delta B + C \quad (21)$$

Seção 3

$$Alfa = 2.828 \quad (31)$$

$$Beta = 0,237 \quad (32)$$

$$A = Cr - (Mo + W + Ni + Co) \quad (33)$$

15

$$Delta = 0,091 \quad (34)$$

$$B = 1,40 - 0,12 * Cr + 0,007 / Si \quad (35)$$

$$C = 1,2 * Mn * Mn - 0,53 * Mn + 0,02 * (W + Ni) - 0,012 \quad (36)$$

REIVINDICAÇÕES

1. Composição de aço para aplicações especiais, caracterizada pelo fato de que ela compreende, em peso, cerca de 1,8 a 11% de Cromo, menos de 1% de Silício, e entre 0,20 e 0,45 de Manganês, os teores da
5 composição de aço sendo ajustados de acordo com um modelo predeterminado, escolhido para obter características de resistência à oxidação a quente substancialmente ótimas em condições dadas de desempenhos em alta temperatura.

2. Composição de aço de acordo com a reivindicação 1, caracterizada pelo fato de que ela compreende como adição ou como residual pelo
10 menos um elemento escolhido entre o molibdênio, o tungstênio, o cobalto e o níquel.

3. Composição de aço de acordo com uma das reivindicações 1 e 2, caracterizada pelo fato de que ela compreende um teor de silício em
15 peso compreendido entre cerca de 0,20 e 0,50%, de preferência entre cerca de 0,30 e 0,50%.

4. Composição de aço de acordo com uma das reivindicações 1 a 3, caracterizada pelo fato de que ela compreende um teor de manganês em peso compreendido entre cerca de 0,25 e 0,45%.

20 5. Composição de aço de acordo com uma das reivindicações 1 a 4, caracterizada pelo fato de que o dito modelo compreende pelo menos um termo de contribuição do cromo, e um termo de contribuição do manganês sozinho.

25 6. Composição de aço de acordo com a reivindicação 5, caracterizada pelo fato de que o dito termo de contribuição do manganês sozinho compreende uma função polinomial do segundo grau do teor em manganês.

7. Composição de aço de acordo com uma das reivindicações 5 e 6, caracterizada pelo fato de que o dito termo de contribuição do cromo compreende um termo quadrático em inverso do teor em cromo, e um termo
30 em inverso de uma quantidade que contém o teor em cromo.

8. Composição de aço de acordo com uma das reivindicações precedentes, caracterizada pelo fato de que ela compreende entre 2,3 e

2,6% em peso de Cromo, aproximadamente.

9. Composição de aço de acordo com a reivindicação 8, caracterizada pelo fato de que ela compreende, em peso, entre 1,45% e 1,60% de tungstênio e entre 0,05 e 0,20% de molibdênio (E11).

5 10. Composição de aço de acordo com a reivindicação 9, caracterizada por teores em peso de Cr, Mn, Si, Mo, W, Ni, Co tais que o valor de corrosão Vcor de acordo com a relação [21] é inferior a cerca de 1,4, de preferência no máximo igual a cerca de 1,25 (E11).

10 11. Composição de aço de acordo com a reivindicação 8, caracterizada pelo fato de que ela compreende, em peso, entre 0,87 e 1% de molibdênio e muito pouco tungstênio (E10).

15 12. Composição de aço de acordo com a reivindicação 11, caracterizada por teores em peso de Cr, Mn, Si, Mo, W, Ni, Co tais que o valor de corrosão Vcor de acordo com a relação [21] é no máximo igual a cerca de 0,9, de preferência é no máximo igual a cerca de 0,85 (E10).

13. Composição de aço de acordo com a reivindicação 8, caracterizada pelo fato de que ela compreende, em peso, entre 2,4 e 2,6% de cromo, entre 0,70 e 0,90% de molibdênio e praticamente nenhum tungstênio (E12).

20 14. Composição de aço de acordo com a reivindicação 11, caracterizada por teores em peso de Cr, Mn, Si, Mo, W, Ni, Co tais que o valor de corrosão Vcor de acordo com a relação [21] é no máximo igual a cerca de 0,8, de preferência no máximo igual a cerca de 0,75 (E12).

25 15. Composição de aço de acordo com uma das reivindicações 1 a 7, caracterizada pelo fato de que ela compreende entre 8,9 e 9,5% em peso de Cromo, aproximadamente.

16. Composição de aço de acordo com a reivindicação 15, caracterizada pelo fato de que ela compreende entre 0,85% e 0,95% de molibdênio (E21).

30 17. Composição de aço de acordo com a reivindicação 16, caracterizada por um teor em Mo compreendido entre 0,85 e 0,95% Mo e substancialmente uma ausência de W, e cujo valor de corrosão Vcor de acordo

com a relação [21] é inferior a cerca de 0,1, de preferência no máximo igual a cerca de 0,07 (E21).

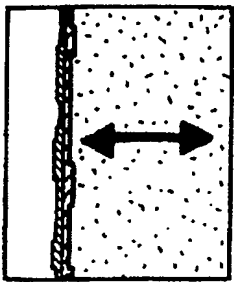
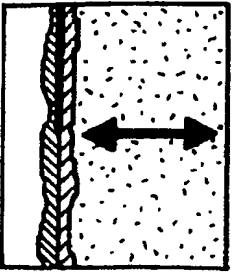
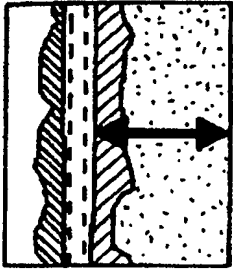
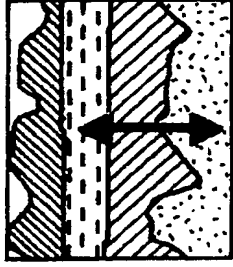
5 18. Composição de aço de acordo com a reivindicação 15, caracterizada pelo fato de que ela compreende entre 1,50 e 1,75% de tungstênio e entre 0,30 e 0,45% de molibdênio (E22).

19. Composição de aço de acordo com a reivindicação 18, caracterizada por teores em peso de Cr, Mn, Si, Mo, W, Ni, Co cujo valor de corrosão V_{cor} de acordo com a relação [21] é no máximo igual a cerca de 0,11, de preferência 0,08 (E22).

10 20. Composição de aço de acordo com uma das reivindicações 15 a 19, caracterizada pelo fato de que ela compreende menos de 0,2% de níquel.

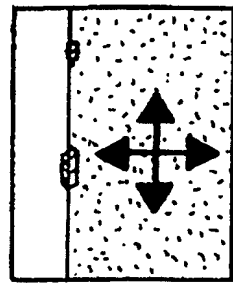
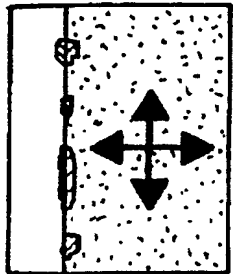
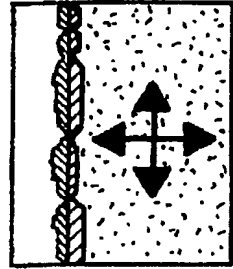
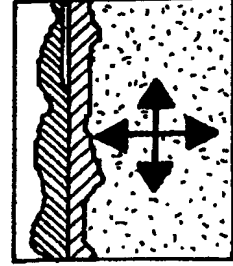
15 21. Tubo sem soldadura ou acessório, essencialmente constituído por uma composição de aço como definida em uma das reivindicações precedentes.

22. Aplicação da composição de aço a tubos sem soldadura e acessórios, destinados a gerar, a veicular ou a acondicionar vapor de água sob pressão e temperatura elevadas.



TIPO I

FIG. 1



TIPO II

FIG. 2

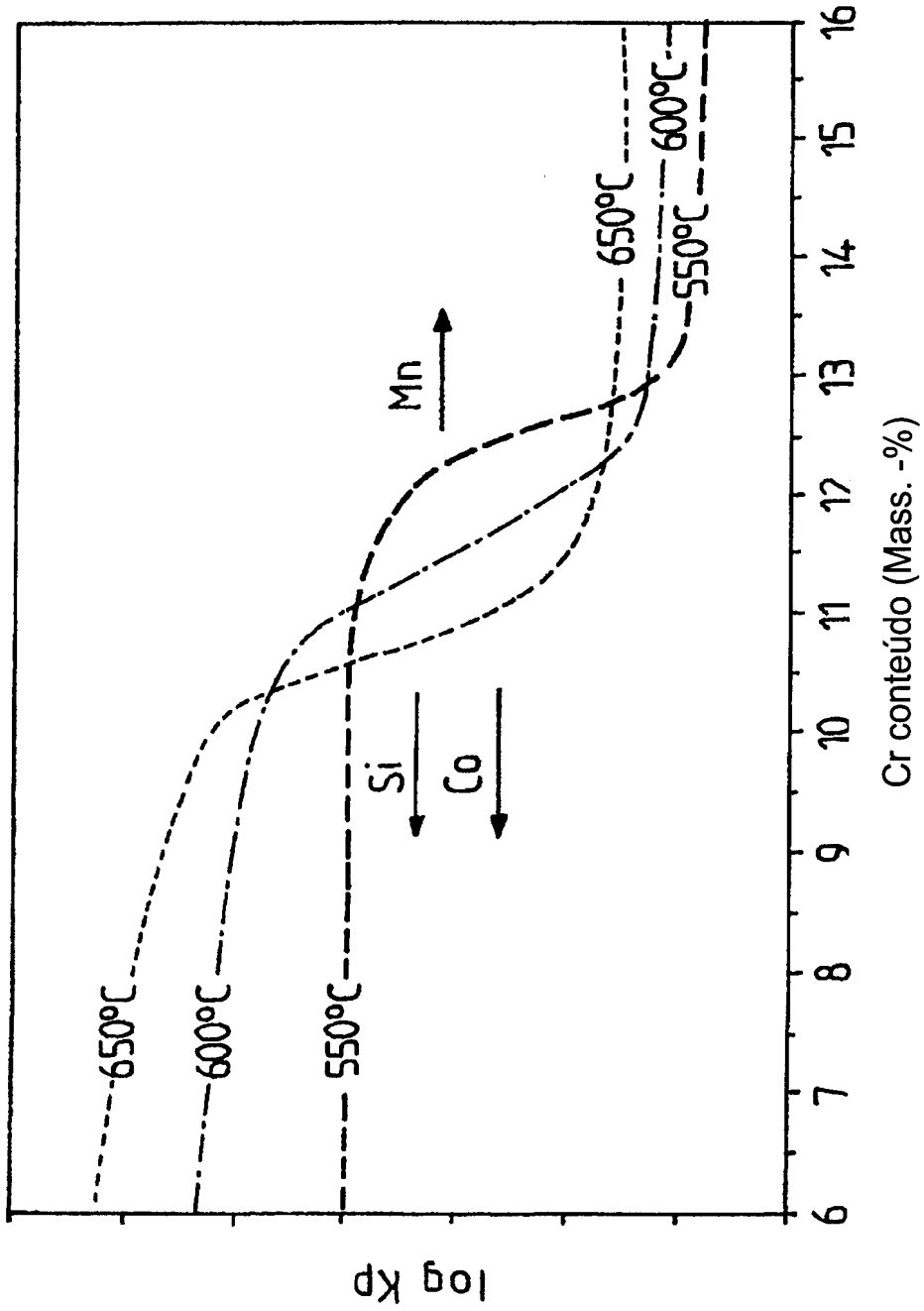


FIG. 3

Rep	Elementos %														Vcor med.	
	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	W	V	Nb	Ni	Al	N	B		Co
T23	0,1	0,48	0,01	ND	0,24	2,07	0,1	1,54	0,26	0,05	0,05	0,02	ND	ND	ND	1,427
T22	0,15	0,46	0,014	ND	0,23	2,06	1	0,014	0,008	0,004	0,15	0,019	ND	ND	ND	1,035
T91	0,1	0,46	0,016	0,002	0,31	8,73	0,99	0,01	0,22	0,08	0,26	0,02	ND	ND	ND	0,094
X20T	0,18	0,52	0,02	0,003	0,25	10,98	0,93	0,02	0,26	0,007	0,37	0,015	ND	ND	ND	0,116
C	0,16	0,53	0,006	0,001	0,09	11,25	1,46	ND	0,25	0,047	0,26	0,012	0,063	ND	0,9	0,104
T92	0,13	0,41	0,017	ND	0,22	8,91	0,44	1,69	0,21	0,09	0,13	0,003	ND	ND	ND	0,113
T122	0,14	0,52	0,02	ND	0,19	11,44	0,6	1,54	0,3	0,07	0,36	0,008	ND	ND	ND	0,114
B	0,18	0,51	0,012	0,001	0,1	11,54	1,48	ND	0,26	0,058	0,25	0,01	0,047	ND	ND	0,081
E	0,12	0,49	0,009	0,001	0,1	11,14	1,48	ND	0,25	0,057	0,26	0,011	0,045	0,006	3,02	0,078
Glab	0,16	0,5	0,009	0,001	0,1	11,44	1,46	ND	0,25	0,044	0,27	0,006	0,05	0,0081	1,49	0,087
Gindus	0,14	0,48	0,017	0,001	0,31	11,45	1,38	0,054	0,26	0,046	0,19	0,004	0,068	0,0051	1,42	0,075
13Cr	0,21	0,47	0,02	ND	0,25	12,7	0,064	ND	0,054	0,002	0,13	0,009	ND	ND	ND	0,020
X20U	0,2	0,41	0,019	0,002	0,34	11,68	1,17	0,05	0,35	0,007	0,42	0,009	ND	ND	ND	0,026
Findus	0,11	0,36	0,017	0,001	0,47	11,49	0,28	1,43	0,28	0,049	0,29	0,008	0,061	0,0046	1,48	0,039
VM12	0,11	0,336	0,014	0,003	0,456	11,39	0,257	1,466	0,26	0,045	0,271	0,01	0,051	0,0042	1,587	0,052
F lab	0,11	0,2	0,013	0,002	0,45	11,5	0,28	1,4	0,24	0,065	0,23	0,015	0,056	0,003	1,3	0,013

FIG. 4

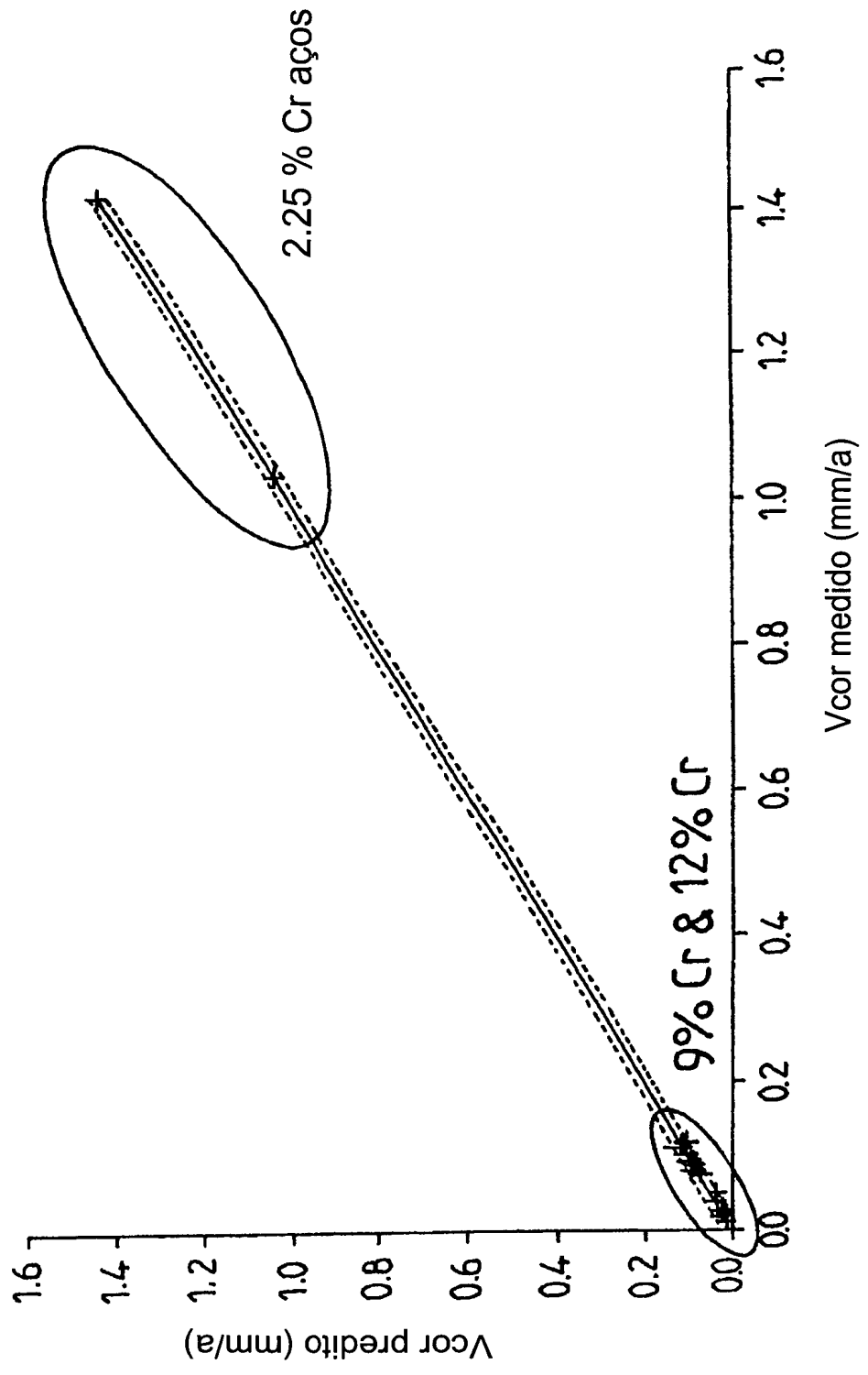


FIG. 5

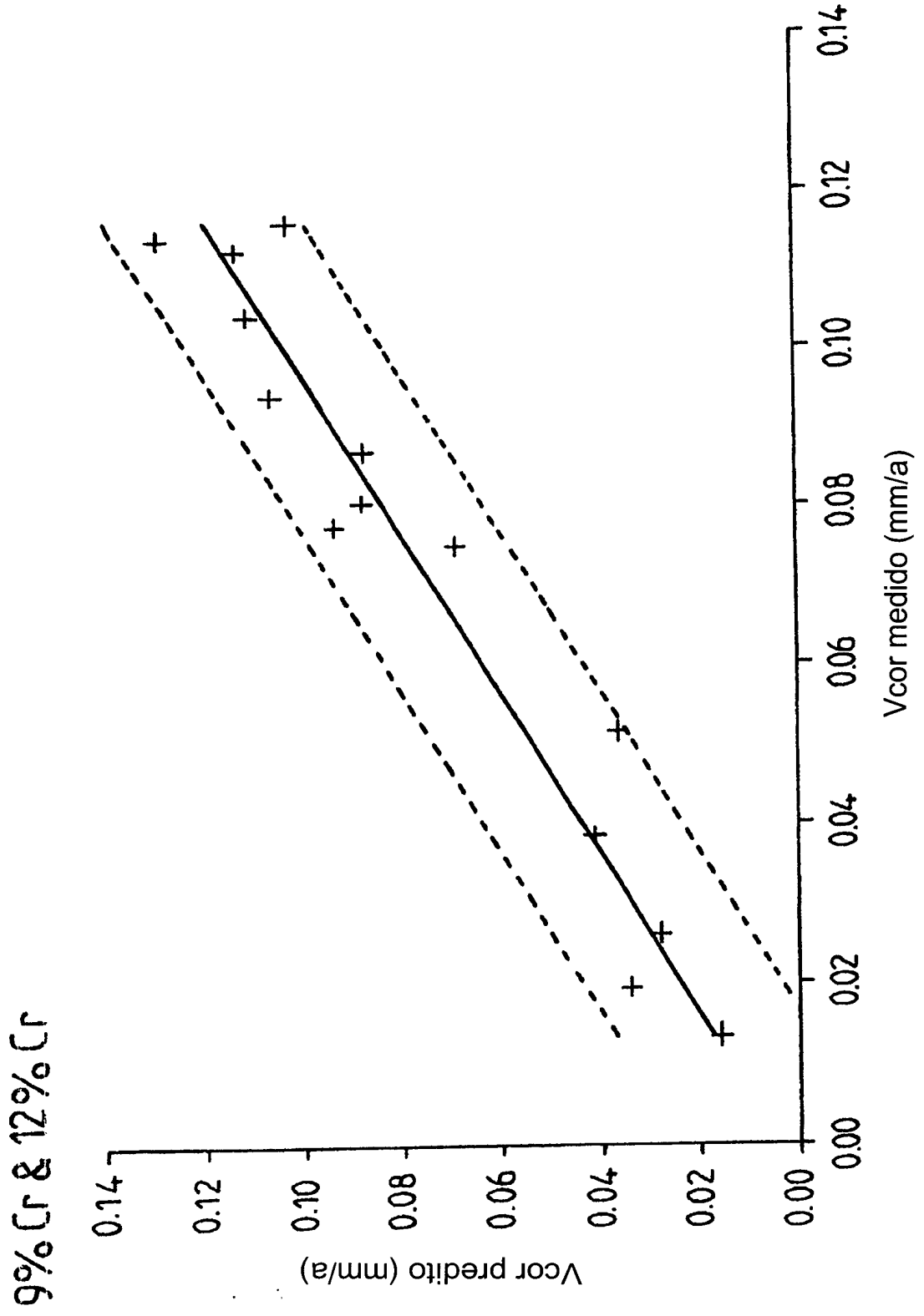


FIG. 6

RESUMO

Patente de Invenção: "**COMPOSIÇÕES DE AÇOS PARA USOS ESPECIAIS**".

São procurados aços que apresentam uma excelente resistência no tempo, sob ambiente de corrosão por meios oxidantes tais como, por exemplo, fumaças ou vapor de água, sob pressão e/ou temperatura elevadas. É proposta uma composição de aço para aplicações especiais, que se situa na zona que compreende, em teor em peso, cerca de 1,8 a 11% de Cromo (e preferencialmente entre cerca de 2,3 e 10% de Cromo), menos de 1% de Silício, e entre 0,20 e 0,45% de Manganês. Verificou-se possível ajustar os teores da composição de acordo com um modelo predeterminado, escolhido para obter características de corrosão substancialmente ótimas em condições dadas de desempenhos em alta temperatura. Esse modelo pode fazer intervir como adição ou como residual pelo menos um elemento escolhido entre o molibdênio, o tungstênio, o cobalto, e o níquel.

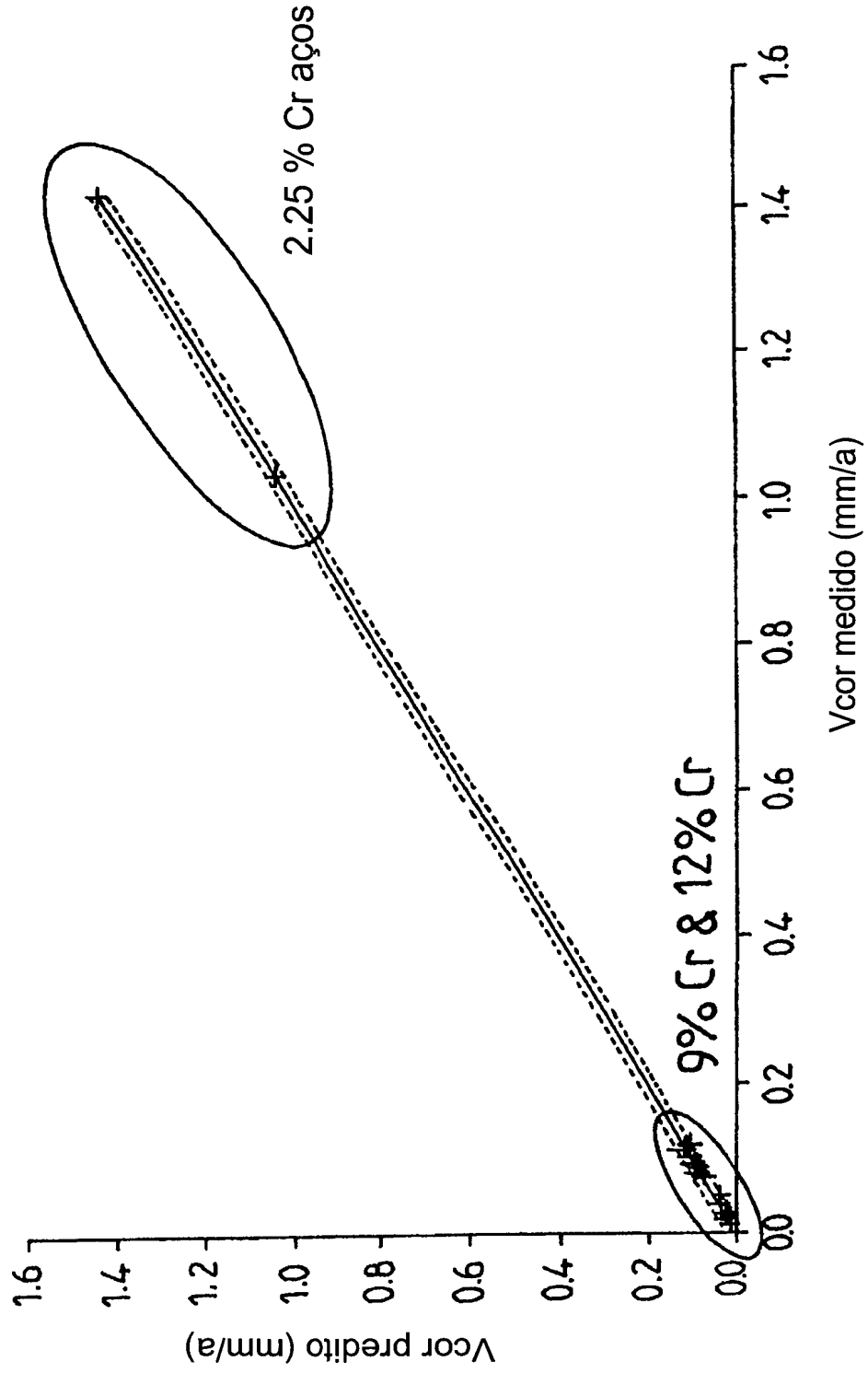


FIG. 5