



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

(11) PI 0921077-6 B1

(22) Data do Depósito: 16/11/2009

(45) Data de Concessão: 16/01/2018



(54) Título: MÉTODO PARA A PRODUÇÃO DE TUBOS FEITOS DE AÇO POSSUINDO UMA ESTABILIDADE AUMENTADA E VISCOSIDADE MELHORADA DO MATERIAL

(51) Int.Cl.: C21D 8/10; C21D 9/08; C22C 38/02; C22C 38/04

(30) Prioridade Unionista: 20/11/2008 AT A 1814/2008

(73) Titular(es): VOESTALPINE TUBULARS GMBH & CO. KG

(72) Inventor(es): JÜRGEN KLARNER

MÉTODO PARA A PRODUÇÃO DE TUBOS FEITOS DE AÇO POSSUINDO UMA ESTABILIDADE AUMENTADA E VISCOSIDADE MELHORADA DO MATERIAL

DESCRIÇÃO

[001] Essa invenção se refere a um método para produção de tubos feitos de aço, caracterizados por uma maior resistência e por uma tenacidade melhorada de seu material.

[002] Por outro lado, essa invenção se refere igualmente a um aparelho para a produção de tubos com um perfil de propriedades especial, sendo esse aparelho constituído por um equipamento que se destina a fazer incidir um agente de refrigeração sobre uma superfície de um tubo.

[003] Ao se produzirem tubos sem costura, as propriedades do material que constitui a parede do tubo podem se caracterizar por diferenças consideráveis tanto de ponto para ponto, como de lote para lote. Regra geral, essas diferenças de propriedades se ficam a dever a uma microestrutura desigual e a uma composição pior do aço, como seja, por exemplo, a uma porcentagem mais elevada de impurezas e de oligoelementos.

[004] No caso de tubos sujeitos a grandes esforços, e atendendo aos motivos acima, esses tubos devem se caracterizar por uma microestrutura condicente com as exigências, com uma uniformidade compreendida dentro de limites rigorosos seja ao longo de todo o comprimento do tubo, seja também coaxialmente, na parede do tubo, devendo igualmente se caracterizar por uma composição de seu material que deve se apresentar isenta de elementos prejudiciais.

[005] Tubos com um comprimento igual ou superior a 7 m e com um diâmetro externo inferior a 200 mm, perante uma

espessura de suas paredes inferior a 25 mm, só com grande esforço podem ser sujeitos a um tratamento térmico que assegure uma estrutura fina uniforme com a textura pretendida ao longo de todo o volume do tubo e que minimize uma curvatura perpendicular em relação à direção longitudinal.

[006] São já conhecidos métodos de acordo com os quais um tubo é torneado em torno de seu eixo ao mesmo tempo em que sua superfície exterior e/ou interior é arrefecida. No entanto, esse tipo de métodos de tratamento térmico pressupõe a presença de uma temperatura elevada e eventualmente uniforme do material ao longo de todo o comprimento do tubo, para, de essa forma, se obter uma composição estrutural homogênea nas paredes.

[007] Atendendo ao exposto, essa invenção tem por objetivo a divulgação de um método com o qual, durante a produção de um tubo por meio de conformação a quente e, de modo especial, por meio de estiramento e redução, a seguir a essa conformação tem lugar um tratamento do referido tubo que conduz a um aumento da resistência e a uma melhoria da tenacidade do material de que esse tubo é feito.

[008] Essa invenção tem ainda por objetivo a criação de um aparelho para a produção de tubos, com o qual, a seguir a uma conformação a quente, seja possível produzir tubos com um perfil de propriedades selecionado ao longo de todo o comprimento de esse tubo.

[009] Um objetivo que é alcançado com um método, de acordo com essa invenção em que, por meio de um arrefecimento rápido imediatamente a seguir a uma conformação a quente e, de modo especial, a seguir a uma deformação por meio de

estiramento e redução, de acordo com o qual, sempre dentro de um intervalo de tempo de, no máximo, 20 segundos a seguir a ultima deformação, a uma temperatura superior a 700 °C, mas, contudo, inferior a 1050 °C, é feito incidir, de forma contínua, sobre a superfície exterior do tubo, em toda sua volta e ao longo de um comprimento superior a 400 vezes a espessura de suas paredes, um agente de refrigeração, sob alta pressão, e em uma quantidade que, quando do arrefecimento rápido, assegure uma velocidade de arrefecimento uniforme de mais de 1 °C/segundo da parede do tubo, ao longo do comprimento do tubo, para uma temperatura compreendida no intervalo de 500 °C a 250 °C, a que se segue então uma segunda fase de arrefecimento do tubo ao ar até a temperatura ambiente.

[0010] Segundo o Método, de acordo com essa invenção, podem se obter valores mecânicos do material particularmente elevados e homogêneos e, de modo especial, valores de tenacidade, se o início do arrefecimento rápido da superfície exterior do tubo tiver lugar a uma temperatura inferior a 950 °C.

[0011] Por outro lado, e para uma têmpera integrada, pode também ser vantajoso se, a seguir ao arrefecimento rápido, quando tiver lugar uma segunda fase de arrefecimento do tubo ao ar, tiver lugar um reaquecimento específico da zona da superfície da parede do tubo.

[0012] Para otimizar a qualidade dos tubos, ou seja, para melhorar a qualidade do material de que esses tubos são feitos, segundo uma forma de realização de esse método pode ser vantajoso, de acordo com essa invenção, que seja

utilizado, para uma produção de tubos, aço com uma concentração tanto dos respectivos elementos de sua liga, quanto de seus oligoelementos, bem como de suas impurezas, em % de peso de

Carbono (C)	de 0,03	a	0,5
Silício (Si)	de 0,15	a	0,65
Manganês (Mn)	de 0,5	a	2,0
Fósforo (P)		máximo de	0,03
Enxofre (S)		máximo de	0,03
Cromo (Cr)		máximo de	1,5
Níquel (Ni)		máximo de	1,0
Cobre (Cu)		máximo de	0,3
Alumínio (Al)	de 0,01	a	0,09
Titânio (Ti)		máximo de	0,05
Molibdênio (Mo)		máximo de	0,8
Vanádio (V)	de 0,02	a	0,2
Nitrogênio (N)		máximo de	0,04
Nióbio (Nb)		máximo de	0,08
Ferro (Fe)		Vestígios.	

[0013] Se esse método for utilizado para uma produção de tubos sem costura com um comprimento superior a 7 m e, de modo especial, até 200 m, com um diâmetro externo superior a 20 mm, mas, no entanto, inferior a 200 mm, e com uma espessura de suas paredes superior a 2,0 mm, mas, no entanto, inferior a 25 mm, a maior qualidade dos tubos pode, de forma extremamente vantajosa, reduzir a quantidade de tubos que será necessário ter em estoque e minimizar os casos de danos provocados por quebra, a que estão associados custos com reparação elevados.

[0014] Perante um teor limitado de carbono, um dos elementos do aço, pelo menos, poderá, de forma vantajosa e com vista a se alcançar uma qualidade elevada homogênea dos tubos, se caracterizar por teores em % de peso de:

Carbono (C)	de 0,05	a	0,35
Fósforo (P)		máximo de	0,015
Enxofre (S)		máximo de	0,005
Cromo (Cr)		máximo de	1,0
Titânio (Ti)		máximo de	0,02

[0015] O demais objetivo de essa invenção, ou seja, a criação de um aparelho para a produção de tubos feitos de aço caracterizados por uma maior resistência e por uma tenacidade melhorada de seu material por meio de seu arrefecimento rápido a seguir a sua deformação, sendo esse aparelho constituído por um equipamento que se destina a fazer incidir um agente de refrigeração sobre uma superfície de um tubo, é alcançado através do fato de, na direção de laminação, e a seguir à última armação de deformação, ter sido formado um túnel de refrigeração comutável equipado com uma multiplicidade de anéis de distribuição concêntricos, instalados em torno do material a ser laminado, e que podem ser colocados em posições diferentes na direção longitudinal, destinados ao agente de refrigeração, tendo cada um de esses anéis, pelo menos, 3 difusores essencialmente direcionados para o eixo, sendo que cada um de esses anéis de distribuição, ou que cada grupo de esses anéis, pode ser alimentado de agente de refrigeração, sendo seu débito regulado.

[0016] Em um equipamento de acordo com essa invenção se

torna possível, de forma vantajosa, sujeitar tubos com comprimentos diferentes e com vários diâmetros e espessuras de paredes a um tratamento térmico seletivo com base no calor da laminação, o que permite então que, de essa forma, seja obtida uma microestrutura pretendida, que se apresenta homogênea ao longo de todo o comprimento do tubo.

[0017] O fato de cada um dos difusores criar uma corrente de agente de refrigeração com o feitio de uma pirâmide, que se alarga na direção de pulverização, demonstrou ser particularmente favorável no que se refere à homogeneidade da estrutura após a têmpera e o revenido, seja a toda a volta das paredes do tubo, seja, ainda, na direção longitudinal de essas paredes.

[0018] Em esse caso, a corrente de agente de refrigeração pode ser constituída, respectivamente, por um fluxo de pulverização de um agente de refrigeração, na maioria dos casos água, e/ou por um fluxo de nuvem de pulverização constituída por um agente de refrigeração e por ar e/ou ainda por uma corrente de gás.

[0019] Puderam igualmente ser obtidos resultados vantajosos no que se refere a uma qualidade uniformemente elevada do tubo com uma corrente de agente de refrigeração com uma secção retangular, em que o eixo mais comprido do retângulo estava colocado de modo a ficar posicionado na diagonal em relação ao eixo do tubo.

[0020] Relevantes para essa invenção são a possibilidade de comutação e a possibilidade de regulação do débito das correntes de agente de refrigeração no túnel de refrigeração.

[0021] Se a alimentação de agente de refrigeração ao

túnel de refrigeração puder ser comutada em função da posição das extremidades do tubo no interior de esse túnel, se torna possível, de forma vantajosa, evitar que o agente de refrigeração penetre no interior do tubo, o que permite não só prescindir de uma refrigeração interior na secção transversal essencialmente de um só lado, mas também evitar seja uma curvatura, seja a formação de uma microestrutura irregular.

[0022] De acordo com essa invenção são utilizados, de forma vantajosa, controles para o arrefecimento de tubos, equipados com sensores de posição e de temperatura, para o comando das correntes de agente de refrigeração.

[0023] Segue-se uma explicação mais detalhada de essa invenção, exclusivamente com base em exemplos que mostram uma única forma de realização.

[0024] Exemplo 1: a partir de um material precursor de tubos obtido de uma mesma massa fundida inicial com uma composição química em % de peso como a que é apresentada na Tabela 1

Designação	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Mo	Fe
Ø do material precursor de tubos	0,1819	0,2910	1,4231	0,0146	0,0065	0,0415	0,0275	0,0211	0,0274	0,0126	Vestígios

foram produzidos, por meio de estiramento e redução, em uma fase final, tubos com as dimensões que passamos a indicar em seguida:

Comprimento do tubo (núcleo de laminação) (C) 19.300,00 mm
 Diâmetro do tubo ($\varnothing$) 146,00 mm
 Espessura da parede do tubo 9,70 mm

[0025] A seguir ao último passe, isso é, a seguir a uma última deformação na armação da saída do equipamento de estiramento e redução, e depois de decorrido um intervalo de tempo de 12 segundos, o tubo foi introduzido em um túnel de refrigeração com uma temperatura de 880 °C.

[0026] Tomando por base o comportamento de transformação que foi determinado para o aço, teve lugar, no âmbito de investigações levadas a cabo em lotes individuais quando da produção de tubos, uma aplicação seletiva, incidindo exclusivamente sobre a superfície exterior do tubo, sendo que, mediante a regulação da corrente de agente de refrigeração, pôde ser medida em essa superfície uma velocidade de arrefecimento de cerca de 6 °C/segundo, até serem alcançadas as seguintes temperaturas finais:

Temperatura	Designação da amostra
T1 = 850 °C	P1
T2 = 480 °C	P2
T3 = 380 °C	P3
T4 = 300 °C	P4

[0027] Uma vez atingidas essas temperatura finais de arrefecimento predefinidas, a alimentação de agente de refrigeração foi interrompida, continuando, de essa forma, o tubo a arrefecer, com menor intensidade, essencialmente com ar parado, até a temperatura ambiente.

[0028] De cada um dos tubos submetidos a tratamentos térmicos diferentes foram colhidas amostras a que foram dadas

as designações de P1 a P4, após o que essas amostras foram submetidas a uma análise de seu material.

[0029] Através da determinação da microestrutura se concluiu que, em todos os casos, se estava sempre perante uma estrutura retificada de forma vantajosa, essencialmente sem textura, mas, no entanto, com um tamanho de grão e com uma distribuição da estrutura dependentes da temperatura final de arrefecimento.

[0030] A fig. 1 mostra uma estrutura da amostra P1, em que se estava perante um tamanho de grão compreendido entre 20 μm e 30 μm e uma percentagem elevada de ferrita. O outro componente de essa estrutura era, essencialmente, a perlita.

[0031] Na fig. 2 pode se determinar a presença de grãos com um tamanho médio consideravelmente menor das amostras P2, compreendido entre cerca de 5 μm e de 8 μm , o que se fica a dever a uma temperatura final de arrefecimento mais baixa de $T_2 = 480\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por outro lado, a percentagem de perlita na ferrita é mais fina, registrando um ligeiro aumento.

[0032] A fig. 3 deixa claro que o material da amostra P3 se caracteriza por um grão fino, devido a um teor elevado de germes perante uma transformação e uma recristalização da estrutura a uma temperatura final de arrefecimento de $T_3 = 380\text{ }^{\circ}\text{C}$, se caracterizando ainda por áreas ferríticas distribuídas de forma essencialmente homogênea, que aumentam a resistência de esse material. Os demais componentes da estrutura após a têmpera e o revenido eram a perlita e a estrutura do domínio bainítico, ou seja, bainite superior.

[0033] A estrutura da parede do tubo P4, que resultou

de um arrefecimento rápido para uma temperatura final de arrefecimento $T_4 = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ a seguir à deformação, é mostrada na fig. 4. Um grão extremamente fino associado a fases ferríticas globulíticas extremamente limitadas com perlita composta por lamelas finas e porcentagens do domínio bainítico situadas no domínio bainítico inferior conferem valores de resistência elevados perante um melhor alongamento do material.

[0034] Perante um arrefecimento da parede do tubo a uma velocidade superior a $1\text{ }^{\circ}\text{C/segundo}$ imediatamente a seguir à conformação a quente do material básico de aço, uma estrutura austenítica formada de essa forma, tal como pôde ser constatado, pode ser consideravelmente superarrefecida em relação ao equilíbrio, sendo que, em consequência disso, e dependendo da quantidade de superarrefecimento e da condição dos germes, tem lugar uma transformação da estrutura. O Método, de acordo com essa invenção permite, de forma vantajosa, regular ao longo de todo o comprimento de um tubo e, de maneira surpreendente, também ao longo de sua seção transversal, uma microestrutura selecionada e homogênea, sendo que essa microestrutura também determina as propriedades do material. Por outras palavras: Se um tubo tiver de se caracterizar por propriedades de material definidas, é indicada a seleção de uma liga. Um perfil de propriedades predefinido, vantajoso e favorável do material pode ser obtido através de um Método, de acordo com essa invenção no aparelho de acordo com essa invenção.

[0035] A fig. 5 mostra, representados através de um diagrama de barras, os valores medidos limite de alongamento

convencional (R_p) (0,2) [MPa], resistência à ruptura por tração (R_m) [MPa], contração (A_c) [%] e tenacidade (KV450) [J] das amostras P1 a P4, ou seja, em função das propriedades de material mecânicas obtidas mediante a utilização dos diferentes parâmetros de arrefecimento empregues na tecnologia de melhoramento.

[0036] Perante uma mesma composição do aço, e a seguir a estiramento e redução, o limite de alongamento convencional do material da parede do tubo pôde ser aumentado, por meio de um Método, de acordo com essa invenção, de 424 [MPa] para 819 [MPa], ao mesmo tempo em que a redução dos valores de alongamento de 26 [%] para 10 [%] pôde ser minimizada, perante o que a tenacidade do material registrou uma redução de 170 [J] para 160 [J].

[0037] Perante temperaturas finais de arrefecimento elevadas, como as que, por exemplo, foram utilizadas para o material da amostra P1, o resultado é uma recristalização e uma formação de grãos grosseiros em grande medida, o que, se por um lado confere uma tenacidade e uma capacidade de concentração elevada ao material, pelo outro implica necessariamente valores de resistência comparativamente reduzidos.

[0038] Um arrefecimento para temperaturas de transformação mais baixas aumenta os valores de resistência da parede do tubo e, por inerência de sua natureza, provoca simultaneamente uma redução de pouca monta da contração e da tenacidade do material, como se pode verificar pelas amostras P2, P3 e P4.

[0039] Com o Método, de acordo com essa invenção também

podem ser reguladas, de forma seletiva, microestruturas no material, do que resulta o perfil de propriedades da parede do tubo. Assim, por exemplo, através de uma temperatura de transformação baixa, foi possível conseguir uma transformação elevada em uma estrutura bainítica inferior da estrutura do tubo de amostra P4, o que permitiu obter um aumento da tenacidade do material.

[0040] A fig. 6 mostra os valores de dureza medidos ao longo do comprimento dos tubos experimentais P1 e P4. Com um aumento da dureza [HRB] e dos valores de resistência do material através de uma intensificação da incidência de agente de refrigeração também se registra uma redução, como teve oportunidade de se concluir, de uma dispersão S da dureza do material ao longo do comprimento do tubo.

[0041] A fig. 7 mostra a evolução da dureza do material nos quadrantes ao longo da espessura da parede do tubo experimental P2.

[0042] Os resultados da medição dos quatro quadrantes Q1 a Q4 correspondem a valores médios de, sempre, quatro medições eqüidistantes por quadrante, efetuadas nas zonas exterior, média e interior da parede do tubo.

[0043] Como se pode ver através da comparação dos vários valores da dureza ao longo da secção transversal da parede do tubo nos quadrantes, se registram apenas diferenças mínimas no que toca à resistência do material, pelo que está mostrada a qualidade do produto que pode ser obtida através da utilização do Método, de acordo com essa invenção e de um aparelho também ele de acordo com essa invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para a produção de tubos feitos de aço possuindo uma estabilidade aumentada e viscosidade melhorada do material por meio de um arrefecimento rápido imediatamente após a uma conformação à quente , nomeadamente, tubos de campo de petróleo com um comprimento superior 7 m e, em particular 200 m, com um diâmetro externo superior a 20 mm, mas inferior a 200 mm, e com uma espessura de paredes superior a 2,0 mm, mas inferior a 25 mm, caracterizado pelo fato de que subsequente a conformação por meio de redução de estiramento, em que um agente de refrigeração é aplicado em pressão alta dentro da passagem para a superfície exterior do tubo em um comprimento circunferencial superior a 400 vezes a espessura da parede do tubo, cada dentro de um intervalo de tempo de no máximo 20 segundos após a última conformação a uma temperatura superior a 700 °C, mas inferior a 1050 °C, em uma quantidade que resulte em uma velocidade de refrigeração uniforme durante o arrefecimento uniforme superior a 1 °C/segundo da parede do tubo ao longo do comprimento do tubo para uma temperatura dentro do intervalo de 500 °C a 250 °C, em que a corrente de refrigeração é respectivamente incorporada como um fluxo de refrigeração, na maioria dos casos água, e/ou um fluxo de nuvem de pulverização e ar, e/ou como uma corrente de gás,

subsequente ao qual um arrefecimento a ar adicional do tubo ocorre para temperatura ambiente, em que um aço é utilizado para a produção do tubo que tem uma concentração dos respectivos elementos de sua liga, oligoelementos e impurezas, em % de peso de

Carbono (C) de 0,03 a 0,5

Silício (Si)	de 0,15	a	0,65
Manganês (Mn)	de 0,5	a	2,0
Fósforo (P)	máximo de 0,03		
Enxofre (S)	máximo de 0,03		
Cromo (Cr)	máximo de 1,5		
Níquel (Ni)	máximo de 1,0		
Cobre (Cu)	máximo de 0,3		
Alumínio (Al)	de 0,01	a	0,09
Titânio (Ti)	máximo de 0,05		
Molibdênio (Mo)	máximo de 0,8		
Vanádio (V)	de 0,02	a	0,2
Estanho (Sn)	máximo de 0,08		
Nitrogênio (N)	máximo de 0,04		
Nióbio (Nb)	máximo de 0,08		
Cálcio (Ca)	máximo de 0,005		
Ferro (Fe)	Vestígios.		

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de o início do arrefecimento rápido da superfície exterior do tubo acontece em uma temperatura inferior a 950 °C.

3. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 ou 2, **caracterizado** pelo fato de que subsequente ao arrefecimento rápido, um reaquecimento seletivo da parede do tubo é realizado após o arrefecimento a ar adicional do tubo.

4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado** pelo fato de o aço para a produção de tubos ter pelo menos um elemento com um teor em % de peso de:

Carbono (C)	de 0,05	a	0,35
-------------	---------	---	------

Fósforo (P)	máximo de 0,015
Enxofre (S)	máximo de 0,005
Cromo (Cr)	máximo de 1,0
Titânio (Ti)	máximo de 0,02.

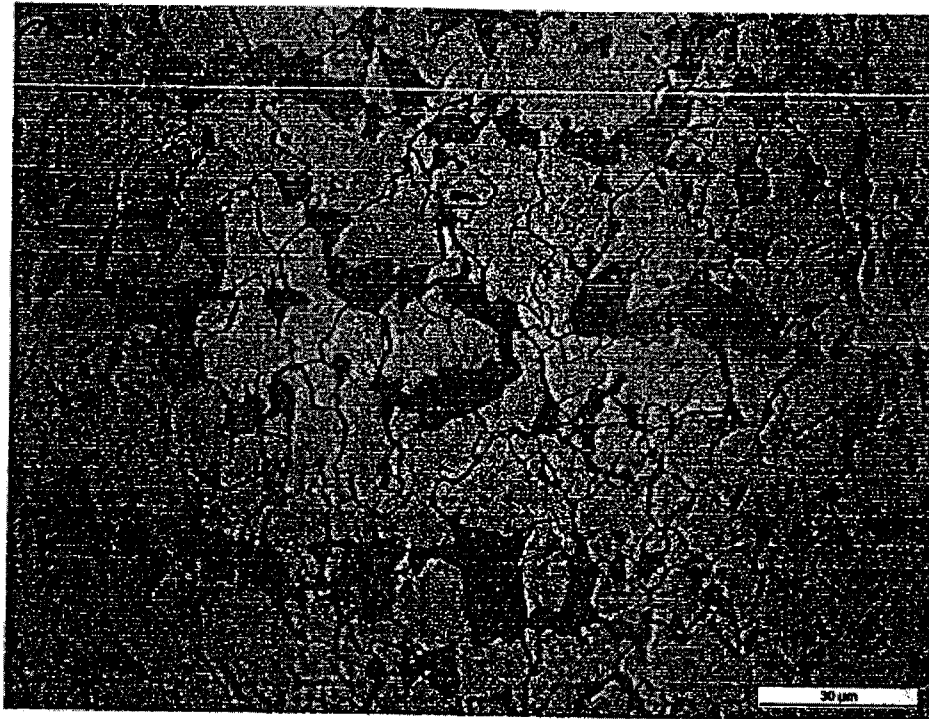


Fig. 1

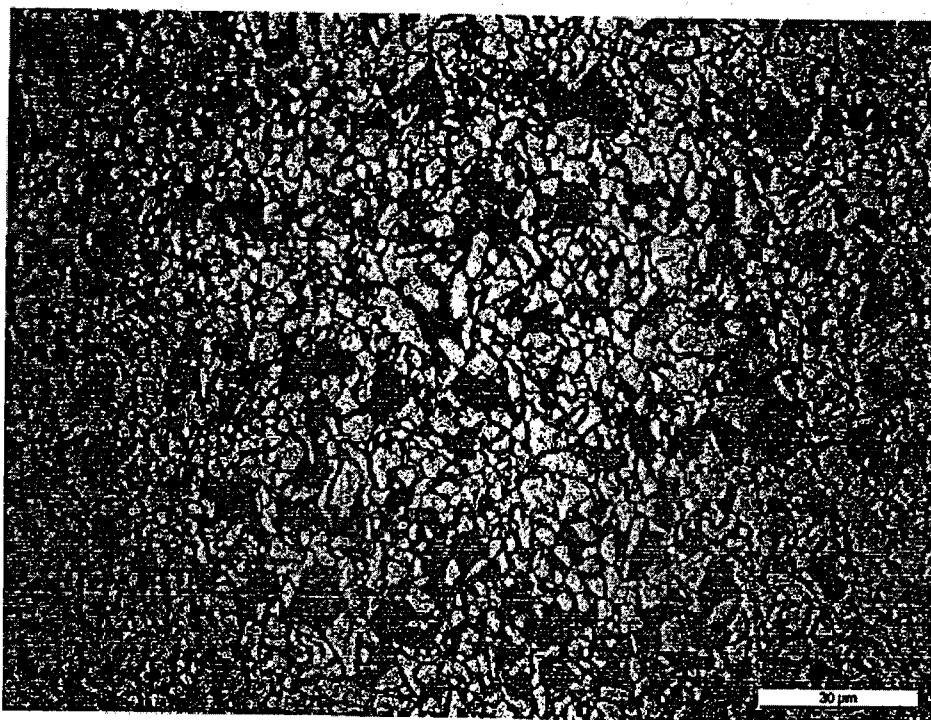


Fig. 2

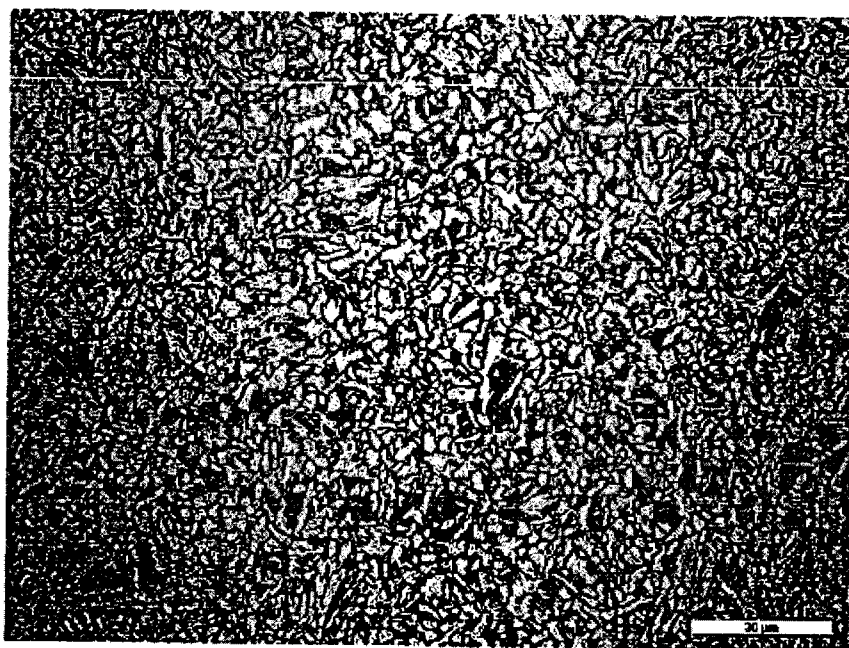


Fig. 3

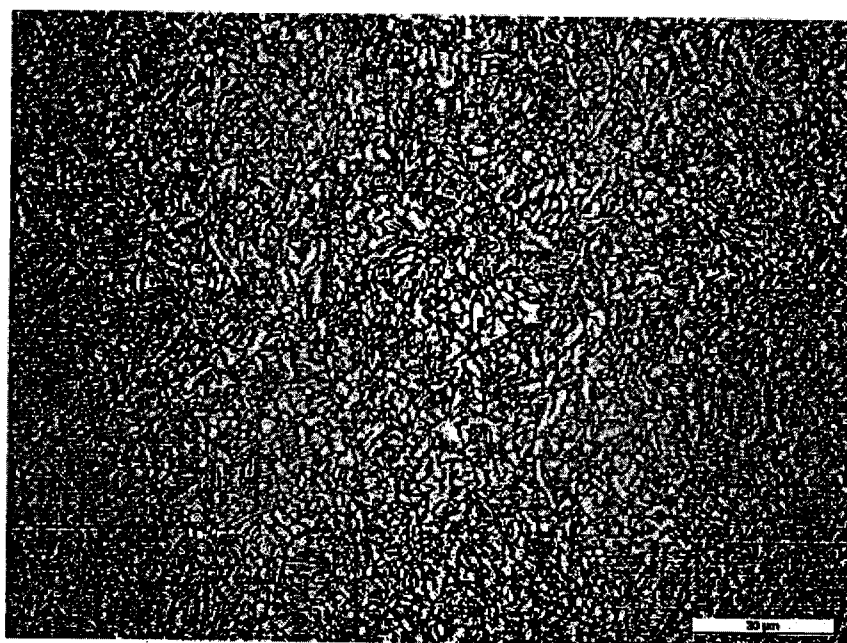


Fig. 4

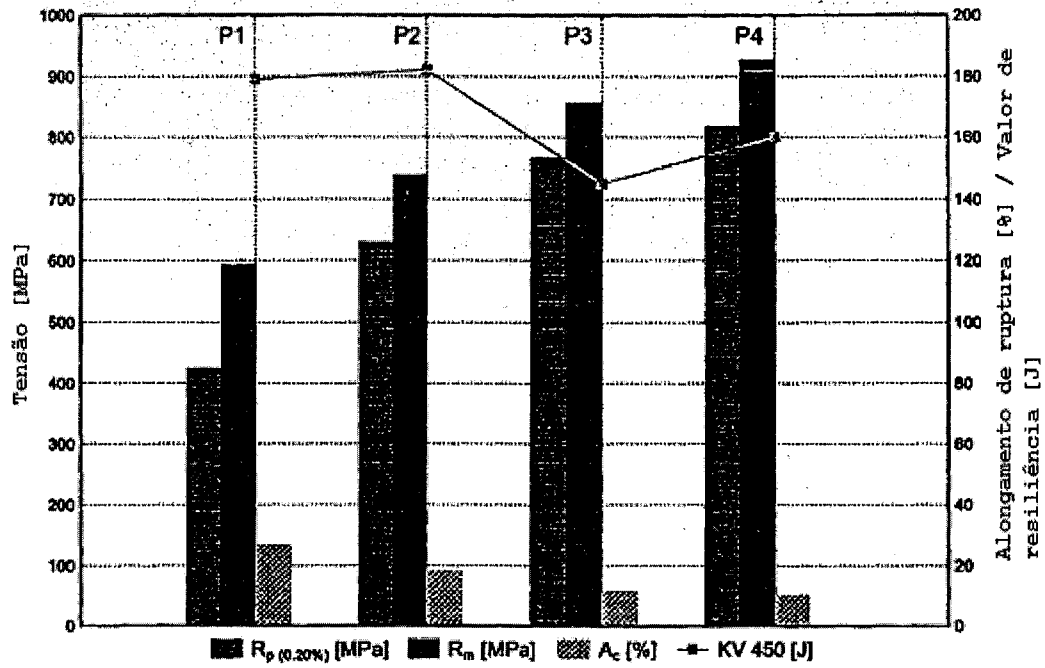


Fig. 5

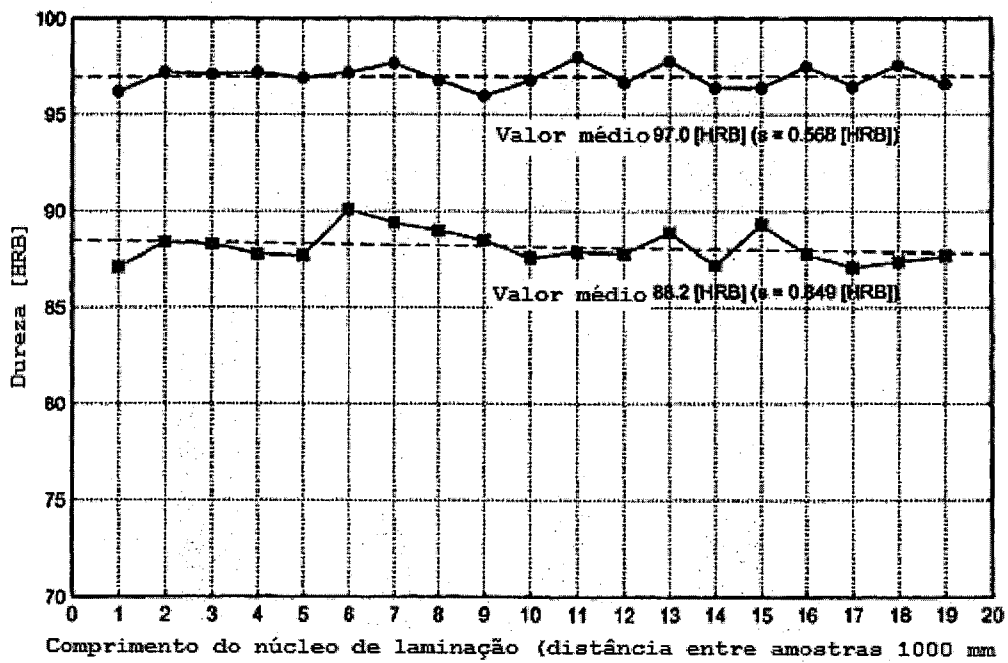


Fig. 6

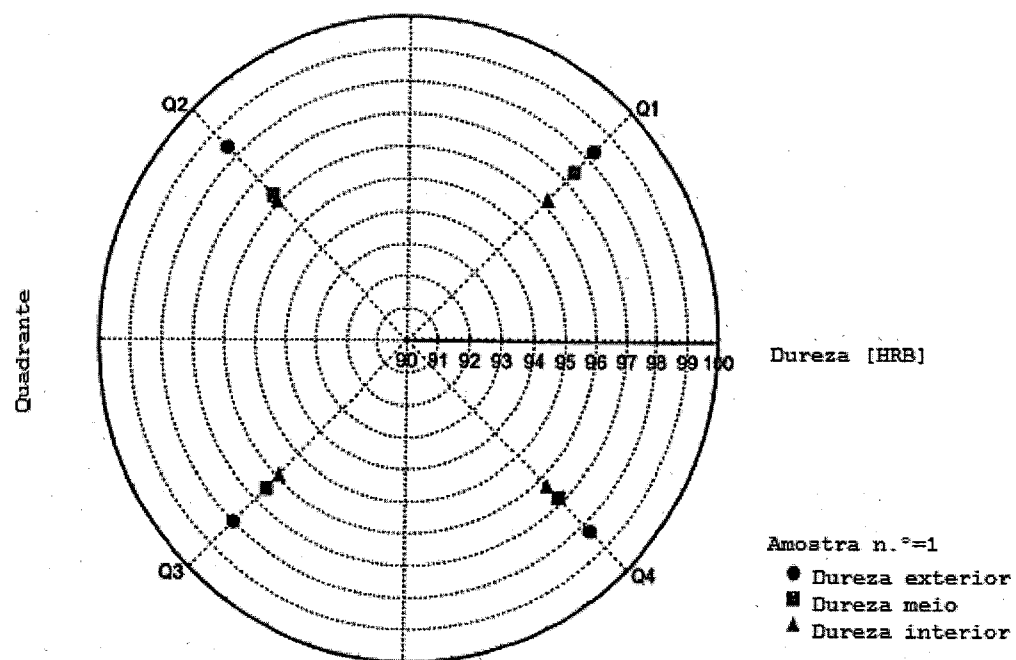


Fig. 7