



Assinado
Digitalmente

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL
MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS
INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL

CARTA PATENTE Nº PI 0716490-4

O INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL concede a presente PATENTE DE INVENÇÃO, que outorga ao seu titular a propriedade da invenção caracterizada neste título, em todo o território nacional, garantindo os direitos dela decorrentes, previstos na legislação em vigor.

(21) Número do Depósito: PI 0716490-4

(22) Data do Depósito: 08/06/2007

(43) Data da Publicação do Pedido: 14/02/2008

(51) Classificação Internacional: C22C 38/22

(30) Prioridade Unionista: EP 06 118672.2 de 09/08/2006

(54) Título: PROCESSO PARA AJUSTE DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE UM AÇO, AÇO PARA FERRAMENTAS, PARTICULARMENTE, AÇO PARA TRABALHO A QUENTE, E OBJETO DE AÇO

(73) Titular: ROVALMA, S.A., Sociedade Espanhola. Endereço: C/Apol.Lo 51, E-08228 Terrassa, ESPANHA(ES)

(72) Inventor: ISAAC VALLS ANGLES

Prazo de Validade: 10 (dez) anos contados a partir de 02/10/2018, observadas as condições legais

Expedida em: 02/10/2018

Assinado digitalmente por:
Liane Elizabeth Caldeira Lage
Diretora de Patentes, Programas de Computador e Topografias de Circuitos Integrados

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para **"PROCESSO PARA AJUSTE DA CONDUTIVIDADE TÉRMICA DE UM AÇO, AÇO PARA FERRAMENTAS, PARTICULARMENTE, AÇO PARA TRABALHO A QUENTE, E OBJETO DE AÇO"**.

5 A presente invenção refere-se a um processo para ajuste da condutividade térmica de um aço, a um aço para ferramentas, particularmente, aço para trabalho a quente, e a um uso de um aço para ferramentas. Além disso, a presente invenção refere-se a um objeto de aço.

10 Aços para trabalho a quente são aços para ferramentas ligados, que, além de ferro, contêm como elementos de liga, particularmente, carbono, cromo, tungstênio, silício, níquel, molibdênio, manganês, vanádio e cobalto, em diferentes porções.

15 De aços para trabalho a quente podem ser produzidos objetos de aço para trabalho a quente, tais como, por exemplo, ferramentas, que são apropriados para trabalhar materiais, particularmente, na fundição sob pressão, prensagem por extrusão ou forja em estampa. Exemplos dessas ferramentas são matrizes para prensar por extrusão, ferramentas para forjar, moldes para fundição sob pressão, matrizes de pressão ou similares, que, a temperaturas de trabalho elevadas, precisam apresentar propriedades de
20 resistência mecânica especiais. Uma outra área de aplicação para aços de trabalho a quente são ferramentas para fundição injetada de matérias sintéticas.

25 Uma funcionalidade essencial de aços para ferramentas, particularmente, aços para trabalho a quente, e objetos de aço produzidos do mesmos, consiste no fato de, no uso em processos técnicos, garantir uma descarga suficiente de calor, introduzido ou gerado no próprio processo.

30 Ferramentas para trabalho a quente, que são produzidas de um aço para trabalho a quente, precisam apresentar, além de uma alta estabilidade mecânica, a temperaturas de trabalho elevadas, uma boa condutividade térmica, bem como uma alta resistência ao desgaste a quente. Outras propriedades importantes de aços para trabalho a quente são, além de uma dureza e resistência suficientes, também uma alta dureza a quente, bem

como uma alta resistência ao desgaste, a temperaturas de trabalho elevadas.

Uma alta condutividade térmica do aço para trabalho a quente, usado para produção de ferramentas, é de importância especial para determinadas aplicações, uma vez que a mesma pode causar um encurtamento de tempo de ciclo considerável. Como a operação de dispositivos de transformação a quente para a transformação a quente de ferramentas é relativamente cara, por uma redução dos tempos de ciclo pode ser obtida uma econômica de custos considerável. Uma alta condutividade térmica é de vantagem, ainda, na fundição por alta pressão, uma vez que os moldes de fundição ali utilizados, devido a uma resistência térmica permanente, grandemente aumentada, têm uma vida útil substancialmente mais longa.

Os aços para ferramentas, frequentemente usados para produção de ferramentas, apresentam, tipicamente, uma condutividade térmica em uma ordem de tamanho de cerca de 18 a 24 W/mK, à temperatura ambiente. Em geral, as condutividades térmicas dos aços para trabalho a quente, conhecidos do estado da técnica, perfazem cerca de 16 a 37 W/mK.

Do documento da patente EP 0 632 139 A1 é conhecido, por exemplo, um aço para trabalho a quente, que a temperaturas de até cerca de 1.100°C apresenta uma condutividade térmica comparativamente alta, de acima de 35 W/mK. O aço para trabalho a quente, conhecido desse documento, contém, além de ferro e impurezas inevitáveis:

0,30 a 0,55% em peso de C;
menos de 0,90% em peso de Si;
até 1,0% em peso de Mn;
2,0 a 4,0% em peso de Cr;
3,5 a 7% em peso de Mo;
0,3 a 1,5% em peso de um ou mais dos elementos vanádio, titânio e nióbio.

Aços de ferramentas para trabalho a quente convencionais apresentam, tipicamente, um teor de cromo de mais de 2% em peso. Cromo é um formador de carburetos comparativamente barato e, além disso, põe à

disposição ao aço de trabalho a quente uma boa resistência à oxidação. Além disso, o cromo forma carburetos secundários muito fino, de modo que a relação da resistência mecânica para a tenacidade é muito boa nos aços de ferramentas para trabalho a quente.

5 Da patente alemã DE 1014577 B1 é conhecido um processo para produção de ferramentas para trabalho a quente sob uso de uma liga de aço endurecível. Essa patente refere-se, particularmente, a um processo para produção de ferramentas para trabalho a quente, que endurecem em operação, particularmente, matrizes para forja por compressão a quente, com alta resis-
10 tência ao fendimento e à ruptura, bem como com alta limite de alongamento em solicitações de pressão estáticas no calor. Os aços de transformação a quente descritos nesse documento distinguem-se, além disso, por uma composição química simples, relativamente barata (0,15-0,30% de C, 3,25-3,50% de Mo, sem cromo) e um revenimento fácil. Primordialmente, são descritos, nesse ca-
15 so, os processos ótimos para produção de matrizes de compressão a quente, inclusive os respectivos tratamentos de recozimento (têmpera). Propriedades especiais na dependência da composição química não são mencionadas.

O documento CH 481222 refere-se a um aço para trabalho a quente ligado com cromo-molibdênio-vanádio, com boa estampagem a frio,
20 para produção de ferramentas, tais como, por exemplo, matrizes de estampagem e matrizes. Faz-se referência ao fato de que o ajuste dos elementos de liga - particularmente, cromo (1,00 a 3,50% de Cr), molibdênio (0,50 a 2,00% de Mo) e vanádio (0,10 a 0,30% de V) – exerce uma influência decisiva sobre as propriedades, tais como, por exemplo, uma baixa resistência ao recozimento (55 kp/mm²), boas propriedades de fluência, boa condutividade
25 térmica e assim por diante.

O documento japonês JP 4147706 refere-se ao aperfeiçoamento da resistência ao desgaste de mandris para a produção de tubos de aço sem costura, pela geometria do mandril e pela composição química da liga (0,1 a
30 0,4% de C, 0,2 a 2,0% de Mn, 0 a 0,95% de Cr, 0,5 a 5,0% de Mo, 0,5 a 5,0% de W). Medidas especiais para aumentar a condutividade térmica do aço não são objeto desse documento.

O documento japonês JP 2004183008 descreve uma liga de aço ferrítica-perlítica de baixo custo de ferramentas (0,25 a 0,45% de C, 0,5 a 2,0% de Mn, 0 a 0,5% de Cr) para a fundição de matérias sintéticas. Nesse caso, está em primeiro plano a relação ótima de processabilidade e condutividade térmica.

O aço descrito no documento JP 2003253383 contém um aço para ferramentas temperado previamente para a fundição de matéria sintética com estrutura básica ferrítica-perlítica (0,1 a 0,3% de C, 0,5 a 2,0% de Mn, 0,2 a 2,5% de Cr, 0 a 0,15% de Mo, 0,01 a 0,25% de V), no qual estão em primeiro plano a excelente processabilidade e aptidão para solda.

Para aumentar a temperatura de transformação de Ac1 em um aço para ferramentas, que está caracterizado por uma alta temperatura de superfície na laminação, bem como para ajustar uma excelente processabilidade e tensões de fluência pequenas, é proposta no documento JP 9049067 uma especificação da composição química (0,05 a 0,55% de C, 0,10 a 2,50% de Mn, 0 a 3,00% de Cr, 0 a 1,50% de Mo, 0 a 0,50% de V) e, particularmente, o aumento do teor de silício (0,50 a 2,50% de Si).

O documento CH 165893 refere-se a uma liga de ferro, que é apropriada, particularmente, para ferramentas de trabalho a quente (punções, matrizes ou similares) e apresenta uma composição química com baixa concentração de cromo (até isenta de cromo), bem como com teor de tungstênio-cobalto-níquel (de preferência, com adições de molibdênio e vanádio). O teor de cromo reduzido ou a dispensa total de cromo como elemento de liga é responsabilizado por aperfeiçoamentos essenciais de propriedades, bem como pela inclusão de propriedades de liga positivas. Nesse caso, foi constatado que já reduções insignificantes da quantidade de cromo resultam em uma influência nitidamente maior sobre as propriedades desejáveis (por um lado, uma alta resistência à ruptura a quente, tenacidade e insensibilidade em relação a oscilações de temperatura e, com isso, uma boa condutividade térmica) do que a adição de grandes quantidades de W, Co e Ni.

Da patente européia EP 078813 B1 é conhecido um aço ferrítico, resistente ao calor, com um teor de Cr e Mn baixo e com uma excelente re-

sistência a temperaturas elevadas. A finalidade da invenção descrita no documento citado acima consistia no fato de por à disposição um aço ferrítico, resistente a calor, com baixo teor de cromo, que apresenta uma estabilidade de tempo de uso aperfeiçoada sob as condições de longos períodos a temperaturas elevadas, bem como uma melhor tenacidade, processabilidade e soldabilidade, também a produtos grossos. Pela descrição das influências da liga com relação à formação de carburetos (engrossamento), precipitação e solidificação de cristais mistos, é evidenciada a necessidade da estabilização da estrutura do aço ferrítico. A redução do teor de Cr para abaixo de 3,5% é fundamentada com a redução da estabilidade de tempo de uso inibida, devido ao engrossamento de carburetos de Cr, a temperaturas acima de uma temperatura de 550°C, bem como com um aperfeiçoamento da tenacidade, processabilidade e condutividade térmica. Mas, pelo menos 0,8% de Cr são considerados um pressuposto para a conservação da resistência à oxidação e corrosão do aço a altas temperaturas.

Do documento DE 1950894 A1 é conhecida uma liga resistente a desgaste, estável no recozimento e resistente a calor. Essa liga visa, particularmente, uma utilização para ferramentas para trabalho a quente na transformação a quente e técnica de transformação a quente e distingue-se por teores de molibdênio muito altos (10 a 35%) e teores de tungstênio muito altos (20 a 50%). Além disso, a invenção descrita no documento citado acima refere-se a um processo simples e de baixo custo para produção, no qual a liga é produzida, primeiramente, da fusão ou pelo método metalúrgico de pó. O teor de Mo e W em quantidades de tal modo grandes é fundamentado com o aumento da estabilidade de recozimento e resistência ao calor por endurecimento de cristais mistos e pela formação de carburetos (ou fases intermetálicas). Além disso, o molibdênio aumenta a condutividade térmica e reduz a dilatação térmica da liga. Finalmente, é descrita nesse documento a aptidão da liga para produção de camadas superficiais sobre corpos básicos com outras composições (radiação de laser, elétrons, plasma, solda de aplicação).

A patente alemã DE 4321433 C1 refere-se a um aço para ferra-

mentas de trabalho a quente, tais como são usadas para a formação original, a transformação e o trabalho de materiais (particularmente, na fundição por compressão, prensagem por extrusão ou forja em estampa ou como lâminas de tesoura), a temperaturas de até 1100°C. É característico que na
5 faixa de temperatura de 400 a 600°C o aço tem uma condutividade térmica de acima de 35W/mK (embora a mesma diminua, em princípio, com crescente teor de liga) e, simultaneamente, uma alta resistência ao desgaste (resistência à tração acima de 700 N/mm²). A boa condutividade térmica é atribuída, por um lado, à quantidade de molibdênio aumentada (3,5 a 7,0% de
10 Mo) e, por outro lado, a uma quantidade de cromo máxima de 4,0%.

O documento JP 61030654 refere-se ao uso de um aço com alta resistência ao fendimento a quente e ruptura a quente, bem como alta condutividade térmica como material para a produção de invólucros para cilindros em instalações de fundição por extrusão de alumínio. Também aqui são
15 discutidas as tendências contraditórias na influência sobre a resistência ao fendimento a quente ou ruptura a quente e a condutividade térmica pela composição da liga. Teores de silício acima de 0,3% e teores de cromo acima de 4,5% são considerados como desvantajosos, especialmente com relação à condutividade térmica. São descritos procedimentos possíveis para
20 ajuste de uma microestrutura martensítica temperada dos invólucros de cilindro produzidos da liga de aço de acordo com a invenção.

O documento EP da patente 1300482 B1 refere-se a um aço para trabalho a quente, particularmente, para ferramentas para transformação a temperaturas elevadas, com a simultânea ocorrências das propriedades: dureza, resistência e tenacidade mais altas, bem como boa condutividade térmica, resistência ao desgaste aperfeiçoada a temperaturas elevadas, e prolongamento da durabilidade a solicitações semelhantes a choques. É descrito que por determinadas concentrações em limites estreitos de carbono (0,451 a 0,598% de C), bem como de elementos formadores de carburetos especiais e monocarburetos (4,21 a 4,98% de Cr, 2,81 a 3,29 de Mo,
25 0,41 a 0,69% de V) no revenimento térmico, pode ser promovida uma tempera cristalina mista e extensivamente suprimido um endurecimento de car-
30

buretos ou uma precipitação de carburetos mais grossos, que aumenta a dureza, à custa da dureza da matriz. Um aperfeiçoamento da condutividade térmica por uma redução da quantidade de carbureto, poderia basear-se em uma cinética de superfícies de limite e/ou nas propriedades dos carburetos.

5 Uma desvantagem dos aços para ferramentas, particularmente, aços para trabalho a quente, e dos objetos de aço produzidos dos mesmos consiste no fato de que para algumas áreas de aplicação os mesmos só apresentam uma condutividade térmica insuficiente. Até agora não é possível
10 ajustar de modo controlado a condutividade térmica de um aço, particularmente, de um aço para trabalho a quente, e, desse modo, adaptar o mesmo à respectiva finalidade de aplicação.

 É nisso que se baseia a presente invenção e se propõe como tarefa de por à disposição um processo, por meio do qual pode ser obtido um ajuste controlado da condutividade térmica de um aço, particularmente,
15 de um aço de trabalho a quente. Além disso, a presente invenção tem por base a tarefa de por à disposição um aço para ferramentas, particularmente, um aço para trabalho a quente, bem como um objeto de aço, que apresentam uma condutividade térmica mais alta do que os aços para ferramentas (particularmente, aços para trabalho a quente), ou objetos de aço do estado
20 da técnica.

 Essa tarefa é solucionada no que se refere ao processo, por um processo com as características da reivindicação 1 e por um processo com as características da reivindicação 2. No que se refere ao aço para ferramentas, a tarefa que serve de base à presente invenção é solucionada por
25 um aço para ferramentas (particularmente, aço para trabalho a quente) com as características da reivindicação 4, por um aço para ferramentas (particularmente, aço para trabalho a quente) com as características da reivindicação 5 e por um aço para ferramentas (particularmente, aço para trabalho a quente) com as características da reivindicação 6. No que se refere ao objeto de aço, a tarefa que serve de base à presente invenção é solucionada por
30 um objeto de aço com as características da reivindicação 24. As reivindicações subordinadas referem-se a desenvolvimentos vantajosos da invenção.

De acordo com a reivindicação 1, um processo de acordo com a invenção para ajuste da condutividade térmica de um aço, particularmente, um aço para trabalho a quente, distingue-se pelo fato de que uma estrutura de formação interna do aço é produzida de modo metalurgicamente definida, cujos componentes de carbureto apresentam uma densidade de elétrons e fônons definida e/ou cuja estrutura cristalina apresenta um determinado comprimento de caminho livre médio, gerado de modo controlado por defeitos de retículo, para o fluxo de fônons e elétrons. Uma vantagem da solução de acordo com a invenção consiste no fato de que a condutividade térmica de um aço pode ser ajustada de modo controlado para o valor desejado pelo fato de que a estrutura de formação interna do aço é gerada de modo metalurgicamente definido da maneira descrita acima. O processo de acordo com a invenção é apropriado, por exemplo, para aços para ferramentas e para trabalho a quente.

De acordo com a reivindicação 2, um processo de acordo com a invenção para ajuste, particularmente, para aumento da condutividade térmica de um aço, particularmente, de um aço para trabalho a quente, distingue-se pelo fato de que uma estrutura de formação interna é gerada de modo metalurgicamente definido, que em seus componentes de carbureto apresenta uma densidade de elétrons e fônons mais alta e/ou que por um teor de defeitos pequeno na estrutura de formação cristalina dos carburetos e da matriz metálica que circunda a mesma, apresenta um comprimento de caminho livre, médio, ampliado, para o fluxo de fônons e elétrons. Por essa medida de acordo com a invenção, a condutividade térmica de um aço pode ser ajustada de modo definido, em comparação com os aços conhecidos da técnica, e, particularmente, ser substancialmente aumentada, em comparação com os aços de trabalho a quente conhecidos.

Em uma modalidade preferida, a condutividade térmica do aço pode ser ajustada, à temperatura ambiente, para mais de 42 W/mK, de preferência, para mais de 48 W/mK, particularmente, para mais de 55 W/mK.

De acordo com a reivindicação 4, um aço para ferramentas de acordo com a invenção, particularmente, aço para trabalho a quente, distin-

gue-se pela seguinte composição:

0,26 a 0,55% em peso de C;

< 2% em peso de Cr;

0 a 10% em peso de Mo;

5 0 a 15% em peso de W;

sendo que o teor de W e Mo perfaz, na soma, 1,8 a 15% em peso;

elementos formadores de carbureto Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, com um teor de 0 a 3% em peso, individualmente ou na soma;

10 0 a 4% em peso de V;

0 a 6% em peso de Co;

0 a 1,6% em peso de Si;

0 a 2% em peso de Mn;

0 a 2,99% em peso de Ni;

15 0 a 1% em peso de S;

restante: ferro e impurezas inevitáveis.

Como se mostrou que carbono pode ser substituído, pelo menos parcialmente, por chamados equivalentes de carbono, nitrogênio (N) e boro (B), um aço para ferramentas, particularmente, aço para trabalho a quente, com as características da reivindicação 5 ou com as características da reivindicação 6, que apresenta as composições químicas apresentadas abaixo, fornece uma solução equivalente da tarefa que serve de base à presente invenção.

25 De acordo com a reivindicação 5, um aço para ferramentas de acordo com a invenção, particularmente, aço para trabalho a quente, distingue-se pela seguinte composição:

0,25 a 1,00% em peso de C e N, na soma;

< 2% em peso de Cr;

0 a 10% em peso de Mo;

30 0 a 15% em peso de W;

sendo que o teor de W e Mo perfaz, na soma, 1,8 a 15% em peso;

elementos formadores de carbureto Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, com um teor de 0 a 3% em peso, individualmente ou na soma;

0 a 4% em peso de V;

0 a 6% em peso de Co;

5 0 a 1,6% em peso de Si;

0 a 2% em peso de Mn;

0 a 2,99% em peso de Ni;

0 a 1% em peso de S;

restante: ferro e impurezas inevitáveis.

10 De acordo com a reivindicação 6, um outro aço para ferramentas de acordo com a invenção, particularmente, aço para trabalho a quente, distingue-se pela seguinte composição:

0,25 a 1,00% em peso de C, N e B na soma;

< 2% em peso de Cr;

15 0 a 10% em peso de Mo;

0 a 15% em peso de W;

sendo que o teor de W e Mo perfaz, na soma, 1,8 a 15% em peso;

20 elementos formadores de carbureto Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, com um teor de 0 a 3% em peso, individualmente ou na soma;

0 a 4% em peso de V;

0 a 6% em peso de Co;

0 a 1,6% em peso de Si;

0 a 2% em peso de Mn;

25 0 a 2,99% em peso de Ni;

0 a 1% em peso de S;

restante: ferro e impurezas inevitáveis.

30 A vantagem especial dos aços para ferramentas de acordo com a invenção consiste, em primeira linha, na condutividade térmica drasticamente aumentada, em comparação com os aços para ferramentas e aços para trabalho a quente conhecidos do estado da técnica. Fica nítido que o aço para ferramentas de acordo com a invenção contém, além de ferro como

componente principal, os elementos C (ou C e N, de acordo com a reivindicação 5, e C, N e B, de acordo com a reivindicação 6), Cr, Mo e W nos âmbitos acima indicados, bem como impurezas inevitáveis. Os elementos de liga restantes (elementos concomitantes da liga) são, desse modo, componentes opcionais do aço para ferramentas, uma vez que seu teor, opcionalmente, também pode perfazer 0% em peso.

Um aspecto essencial da solução aqui descrita consiste no fato de manter carbono e, de preferência, também cromo no estado de solução de sólido, substancialmente fora da matriz de aço e substituir os carburetos de Fe_3C por carburetos com condutividade térmica mais alta. Cromo só pode ser mantido fora da matriz pelo fato de não estar presente de modo algum. Carbono pode ser ligado, particularmente, com formadores de carbureto, sendo que Mo e W são os elementos de preço mais baixo e apresentam, tanto como elementos, como também como carburetos, uma condutividade térmica comparativamente alta.

Modelos de simulação quantamecânicos para aços para ferramentas e, particularmente, para aços para trabalho a quente, podem mostrar que carbono e cromo no estado de solução de sólidos levam a uma distorção da matriz, o que tem como consequência um encurtamento do comprimento de caminho livre, médio, de fônons. Um módulo de elasticidade maior e um coeficiente de dilatação térmica mais alto são a consequência. A influência de carbono sobre a dispersão dos elétrons e fônons também foi examinada com ajuda de modelos de simulação apropriados. Desse modo, puderam ser verificadas as vantagens de uma matriz esvaziada com relação a carbono, bem como cromo, sobre o aumento da condutividade térmica. Enquanto a condutividade térmica da matriz é dominada pelo fluxo de elétrons, a condutividade dos carburetos é determinada pelos fônons. No estado de solução de sólidos, cromo tem um efeito muito negativo sobre a condutividade térmica obtida por fluxo de elétrons.

Os aços para ferramentas de acordo com a invenção (particularmente, aços para trabalho a quente) de acordo com as reivindicações 4, 5 e 6 podem ter uma condutividade térmica, à temperatura ambiente, de mais de 42 W/mK,

de preferência, uma condutividade térmica de mais de 48 W/mK, particularmente, uma condutividade térmica de mais de 55 W/mK. Surpreendentemente, mostrou-se que podem ser obtidas condutividades térmicas em uma ordem de tamanho de mais de 50, particularmente, cerca de 55 a 60 W/mK, e até acima disso. A condutividade térmica do aço para trabalho a quente pode, desse modo, ser quase duas vezes maior do que nos aços para trabalho a quente do estado d técnica. Desse modo, o aço aqui descrito é apropriado, particularmente também para aplicações, nas quais é exigida uma alta condutividade térmica. Na condutividade térmica drasticamente aperfeiçoada consiste, portanto, a vantagem especial do aço para ferramentas de acordo com a invenção em relação à soluções conhecidas do estado da técnica.

Em uma modalidade particularmente vantajosa, a condutividade térmica do aço para ferramentas é ajustável por um processo de acordo com uma das reivindicações 1 a 3. Desse modo, a condutividade térmica do aço para ferramentas pode ser adaptada e ajustada, de modo controlado, especificamente para a aplicação.

Opcionalmente, o aço para ferramentas pode conter os elementos formadores de carbureto, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, com uma quantidade de até 3% em peso, individualmente ou na soma. Os elementos Ti, Zr, Hf, Nb, Ta são conhecidos na metalurgia como fortes formadores de carbureto. Mostrou-se que formadores de carbureto fortes têm efeito positivo no que se refere ao aumento da condutividade térmica do aço para ferramentas, uma vez que os mesmos têm uma aptidão melhor para remover carbono no estágio de solução de sólidos da matriz. Carburetos com uma alta condutividade térmica, além disso, ainda podem intensificar a condutividade térmica do aço para ferramentas. Da metalurgia é conhecido que os seguinte elementos são formadores de carbureto, sendo que a afinidade dos mesmos com carbono está relacionada, a seguir, em ordem crescente: Cr, W, Mo, V, Ti, Nb, Ta, Zr, Hf.

Nesse contexto, é particularmente vantajosa a geração de carburetos relativamente grandes e, desse modo, estendidos longamente, uma

vez que toda a condutividade térmica do aço para ferramentas segue uma lei de mistura com efeitos de limite negativos. Quanto mais forte for a afinidade de um elemento para carbono, tanto maior é a tendência de se formarem carburetos primários relativamente grandes. No entanto, os carburetos grandes têm, em certa medida, um efeito negativo sobre algumas propriedades mecânicas do aço para ferramentas, particularmente, sobre a tenacidade do mesmo, de modo que para cada finalidade de aplicação do aço para ferramentas é preciso encontrar um compromisso entre as propriedades mecânicas desejadas e as propriedades térmicas.

10 Opcionalmente, o aço para ferramentas pode conter o elemento de liga vanádio, com um teor de até 4% em peso. Tal como já explicado acima, vanádio estabelece redes de carbureto finas. Desse modo, numerosas propriedades mecânicas do aço para ferramentas podem ser aperfeiçoadas para algumas finalidades de aplicação. Em comparação com molibdênio, o vanádio distingue-se não só por sua afinidade mais alta para carbono, mas tem ainda a vantagem de que seus carburetos apresentam uma condutividade térmica mais alta. Além disso, vanádio é um elemento comparativamente de baixo custo. Mas, uma desvantagem de vanádio em relação a molibdênio consiste no fato de que o vanádio que permanece no estado de solução de sólidos exerce um efeito negativo consideravelmente maior sobre a condutividade térmica do aço para ferramentas. Por essa razão, não é vantajoso ligar o aço para ferramentas com vanádio sozinho.

25 Opcionalmente, o aço para ferramentas pode conter um ou mais elementos para solidificação da solução de sólidos, particularmente, Co, Ni, Si e/ou Mn. Desse modo, existe, opcionalmente, a possibilidade de que o aço para ferramentas apresente Mn com um teor de até 2% em peso. Para aperfeiçoar a resistência a temperaturas elevadas do aço para ferramentas, pode ser vantajoso, por exemplo, um teor de até 6% em peso de Co, na dependência da aplicação concreta. Em uma outra modalidade preferida, o aço para ferramentas pode apresentar Co com um teor de até 3% em peso, de preferência, com um teor de até 2% em peso.

30

Para aumentar a tenacidade do aço para ferramentas a tempera-

turas baixas, pode estar previsto, opcionalmente, que o aço para ferramentas apresente Si, com um teor de até 1,6% em peso.

5 Para aperfeiçoar a trabalhabilidade do aço para ferramentas, o aço para ferramentas pode conter, opcionalmente, enxofre S, com um teor de até 1% em peso.

10 Para facilitar o entendimento fundamental da presente invenção, são explicados mais detalhadamente, a seguir, alguns pontos de vista essenciais da nova estratégia de formação metalúrgica para aços para ferramentas com alta condutividade térmica (aços para trabalho a quente), que também serve de base para o processo de acordo com a invenção.

15 Para um dado corte transversal por uma amostra preparada de modo metalográfico de um aço para ferramentas, que está representado esquematicamente na figura 1, é possível detectar, a uma observação microscópica de luz ou elétrons de retícula da estrutura microestrutural, por meio de técnicas de análise de imagem ópticas, as áreas dos carburetos A_c e do material de matriz A_m . Nesse caso, os carburetos de superfície grande são designados como carburetos primários 1 e os carburetos de superfície pequena, como carburetos secundários 2. O material de matriz, representado no fundo, está caracterizado na figura 1 com o número de referência 3.

20 Desprezando outros componentes da microestrutura (por exemplo, inclusões), a área de toda a superfície A_{tot} do aço para ferramentas pode ser determinada, em boa aproximação, de acordo com a seguinte equação:

$$A_{tot} = A_m + A_c$$

Por uma simples reformulação matemática, é obtida a seguinte equação:

$$(A_m / A_{tot}) + (A_c / A_{tot}) = 1$$

25 Os sumandos dessa equação são apropriados como fatores de ponderação para uma fórmula de regulagem de mistura.

Partindo-se, agora, do fato de que o material de matriz 3 e os

carburetos 1, 2 têm propriedades diferentes no que se refere à sua condutividade térmica, então a condutividade térmica total, integral, desse sistema de acordo com essa fórmula de regulação de mistura pode ser descrita do seguinte modo:

$$\lambda_{int} = (A_m / A_{tot}) * \lambda_m + (A_c / A_{tot}) * \lambda_c$$

5 λ_m é, nesse caso, a condutividade térmica do material de matriz 3 e λ_c é a condutividade térmica dos carburetos 1, 2.

Essa formulação representa, sem dúvida, um modo simplificado de ver o sistema, mas que está perfeitamente apropriada para o entendimento fenomenológico da presente invenção.

10 Uma modelação matemática mais fiel à realidade da condutividade térmica integral do sistema total pode dar-se, por exemplo, sob uso de chamadas teorias de "Effective-Medium" (EMT). Com uma fórmula desse tipo é descrita a composição microestrutural do aço para ferramentas como sistema de ligação, que consiste em elementos estruturais individuais, esfé-
15 rícos, que reproduzem as propriedades dos carburetos, com condutividade térmica isotrópica, que estão incorporados em um material de matriz, com outra condutividade térmica, mas também isotrópica:

$$\lambda_{int} = \lambda_m + f_c * \lambda_{int} * (3 * (\lambda_c - \lambda_m) / (2 * \lambda_{int} + \lambda_c))$$

Nessa equação, f_c descreve a parte em volume dos carburetos 1, 2.

20 No entanto, essa equação não pode ser resolvida claramente e, portanto, também só é limitadamente útil para uma configuração de sistema controlada. Tratando-se da maximização da condutividade térmica do sistema λ_{int} , então, em princípio, pode-se derivar das regras de mistura formula-
25 das previamente que essa maximização da condutividade térmica do sistema λ_{int} pode ser obtida se se conseguir maximizar, em cada caso, as condutividades térmicas dos componentes de sistema individuais λ_c e λ_m .

Para a presente invenção, nesse caso é de importância especial

que a parte em volume dos carburetos f_c decida, finalmente, qual das duas condutividades térmicas λ_c e λ_m é mais importante.

A quantidade dos carburetos é definida, por fim, pelas exigências específicas para a aplicação à resistência mecânica e, particularmente, à resistência ao desgaste do aço para ferramentas. Desse modo, resultam especificações de configuração totalmente diferentes, sobretudo com relação à estrutura de carbureto para as áreas de aplicação principal diferentes dos aços para ferramentas desenvolvidos de acordo com a invenção.

No setor da fundição por pressão de alumínio, a solicitação de desgaste por mecanismos de desgaste ligados a contato, particularmente por abrasão, só são relativamente pouco acentuados. A presença de carburetos primários de grande superfície como componentes de microestrutura altamente resistentes ao desgaste, portanto, não é forçosamente necessária. Desse modo, a parte em volume dos carburetos f_c é determinada, predominantemente, pelos carburetos secundários. Portanto, o valor de f_c é relativamente pequeno.

Na transformação de chapas a quente, que também compreende as variantes ideais da têmpera de pressão e da têmpera em molde, as ferramentas estão sujeitas a uma alta solicitação por mecanismos de desgaste ligados a contato, tanto em forma adesiva como também abrasiva. Por esse motivo, são grandemente desejáveis carburetos primários de grande superfície, uma vez que eles podem aumentar a resistência contra esses mecanismos de desgaste. A consequência dessa microestrutura rica em carburetos primários é um valor alto de f_c .

Independentemente da estrutura dos carburetos, trata-se, finalmente, da maximização da condutividade térmica de todos os componentes de sistema. Pelas especificações de configuração específicas para a aplicação para a formação dos carburetos, resulta, no entanto, uma ponderação da influência das condutividades térmicas dos componentes de sistema sobre a condutividade térmica integral do sistema total.

Já esse modo de aproximação diferencia-se drasticamente do estado da técnica, no qual a condutividade térmica sempre é considerada co-

mo propriedade de material física, integral. Quando no estado da técnica trata-se de detectar a influência de elementos de liga individuais sobre a condutividade térmica, então isso se dá, de modo característico, sempre pela determinação de propriedades integrais. A observação da influência desses elementos de liga sobre a formação microestrutural, portanto sobre a estrutura de carburetos e sobre a matriz e as modificações de propriedades físicas resultantes para esses elementos de sistema microestruturais até agora não eram existentes e, portanto, no estado da técnica em uma foram ponto de partida para um conceito de configuração metalúrgico para um aço para ferramentas.

10 Sob esses pontos de vista de configuração integrais, pode ser constatado que uma redução do teor de cromo e um aumento do teor de molibdênio levam a um aperfeiçoamento da condutividade térmica integral. Os aços para ferramentas desenvolvidos de acordo com essa proposta de configuração metalúrgica normalmente têm uma condutividade térmica de 30
15 W/mK, o que em relação a uma condutividade térmica de 24 W/mK representa um aumento de 25%. Esse aumento já é visto no estado da técnica como um aperfeiçoamento de propriedade eficiente.

 Até agora partia-se do fato de que uma redução adicional do teor de cromo não pode levar a um aperfeiçoamento adicional significativo da
20 condutividade térmica. Como uma redução adicional do teor de cromo leva, adicionalmente, a uma diminuição da resistência à corrosão do aço para trabalho a quente, receitas metalúrgicas correspondentes não foram examinadas adicionalmente nem executadas, com relação à configuração de novos aços para ferramentas.

25 Para os aços para ferramentas de acordo com a invenção, com uma composição de acordo com a reivindicação 4, 5 ou 6, foi usado um conceito metalúrgico totalmente novo para obter uma condutividade térmica drasticamente aperfeiçoada, que está em condições de configurar de modo exatamente definido a condutividade térmica dos componentes de sistema micro-
30 estruturais e, desse modo, aperfeiçoar drasticamente a condutividade térmica integral do aço para ferramentas. Uma ideia básica importante do conceito metalúrgico aqui apresentado, de que os formadores de carbureto preferidos

são molibdênio e tungstênio e que, como consequência de já pequenas quantidades de cromo dissolvidas nesses carburetos, devido ao prolongamento do comprimento de caminho livre, médio, dos fônons, as propriedades de transmissão de calor são influenciadas negativamente pelas perturbações formadas desse modo na estrutura cristalina dos carburetos puros.

5 Com essa proposta de configuração metalúrgica nova podem ser obtidas, de modo vantajoso, condutividades térmicas de aços para trabalho a quente, à temperatura ambiente, de até 66 W/mK e acima. Isso excede a razão de aumento de todos os conceitos conhecidos no estado da técnica em cerca de dez vezes. Nenhuma das propostas que podem ser encontradas no estado da técnica prevê uma redução comparável do teor de cromo para aços de trabalho a quente, com o objetivo do aperfeiçoamento da condutividade térmica.

15 Para os casos, nos quais é previsto um teor de cromo baixo, semelhante à composição química descrita de acordo com a invenção, não se trata, explicitamente, de uma influência sobre a condutividade térmica, mas de outros objetivos funcionais, tal como, por exemplo, no documento JP 04147706 A, da formação controlada de uma camada de oxidação na superfície do aço por uma redução da resistência à oxidação nessa área.

20 É conhecido no estado da técnica que quanto mais alto for o teor de pureza de um material, tanto mais alta é, também, sua condutividade térmica. Qualquer impureza – portanto, no caso dos materiais metálicos, também a adição de qualquer elemento de liga – leva inevitavelmente a uma redução da condutividade térmica. Ferro puro, por exemplo, tem uma condutividade térmica de 80 W/mK, ferro ligeiramente contaminado já tem uma condutividade térmica de menos de 70 W/mK. Já a adição mínima de carbono (0,25 por cento em volume) e de outros elementos de liga, tal como, por exemplo, manganês (0,08 por cento em volume), leva no aço a uma condutividade térmica de apenas 60 W/mK.

30 Não obstante, com o procedimento de acordo com a invenção é surpreendentemente possível obter, apesar da ação de outros elementos de liga, tais como, por exemplo, molibdênio ou tungstênio, condutividades tér-

micas de até 70 W/mK. A razão desse efeito inesperado consiste no fato de que a presente invenção tem por objetivo não deixar o carbono, tanto quanto possível, entrar em solução na matriz, mas ligar o mesmo nos carburetos por formadores de carbureto fortes e utilizar carburetos com uma condutividade

5 térmica alta.

Se concentrarmos, então, a observação nos carburetos, então é a condutividade de fônons que, no final, domina a condutividade térmica. Quando se deseja aperfeiçoar a mesma, então é exatamente nesse ponto que se deve intervir criativamente. Mas, alguns carburetos apresentam uma

10 densidade bastante alta de elétrons condutores, particularmente, carburetos de alta fusão, com um teor de metal alto, tal como, por exemplo, W₆C ou Mo₃C. Em pesquisas mais recentes foi constatado que já adições muito pequenas de cromo a exatamente esses carburetos levam a perturbações significativas da estrutura de retículo cristalino e, com isso, a um prolongamento

15 drástico do comprimento de caminho livre, médio, para o fluxo de fônons. Isso leva a uma conclusão clara que uma redução a mais extensão possível do teor de cromo leva a um aperfeiçoamento da condutividade térmica do aço para ferramentas.

Além disso, molibdênio e tungstênio deveriam ser considerados

20 como formadores de carbureto preferidos. Molibdênio é particularmente preferido nesse sentido, uma vez que ele é um formador de carbureto substancialmente mais forte do que tungstênio. O efeito da redução do teor de molibdênio na matriz produz uma condutividade de elétrons melhor na matriz e, com isso, contribui para um aperfeiçoamento adicional da condutividade

25 térmica integral do sistema total.

Tal como já mencionado acima, um teor de cromo pequeno demais leva, simultaneamente, a uma redução da resistência à corrosão do aço para ferramentas. Embora isso possa ser uma desvantagem para determinadas aplicações, a tendência à oxidação mais alta não representa para as aplicações principais do aço para ferramentas configurado de acordo

30 com a invenção nenhuma desvantagem realmente funcional, uma vez que, nesse caso, efeitos e medidas de proteção contra corrosão são, de qualquer

modo, parte integrante de processos operacionais existentes.

Desse modo, por exemplo, em aplicações na fundição por compressão de alumínio, o próprio alumínio líquido representa uma proteção contra corrosão suficiente, na área da transformação de chapas a quente, trata-se das camadas de borda da superfície das ferramentas, nitradas para proteção contra desgaste. Lubrificantes, que protegem contra corrosão, bem como agentes de resfriamento e de separação também contribuem com sua parte para a proteção contra corrosão. Adicionalmente, podem ser aplicadas, galvanicamente ou no processo de revestimento a vácuo, camadas de proteção muito finas.

O uso de acordo com a invenção dos aços para ferramentas aqui descritos (particularmente, aços para trabalho a quente) como material para a produção de objetos de aço, particularmente, ferramentas para trabalho a quente, fornece inúmeras vantagens e, em parte, extremamente notáveis, em comparação com os aços para trabalho a quente, conhecidos do estado da técnica, que, até agora, eram usados como materiais para objetos de aço para trabalho a quente correspondentes.

A condutividade térmica mais alta das ferramentas produzidas dos aços para ferramentas de acordo com a invenção (particularmente, aços para trabalho a quente), permite, por exemplo, uma redução dos tempos de ciclo no trabalho/produção de peças a trabalhar. Uma outra vantagem consiste em uma redução significativa da temperatura superficial da ferramenta, bem como a redução da gradiente de temperatura, do que resulta um efeito considerável sobre a durabilidade da ferramenta. Esse é particularmente o caso quando danificações da ferramenta podem ser atribuídas, em primeira linha, a fadiga térmica, choque térmico ou aplicação por solda. Esse é o caso, particularmente, com relação a ferramentas para aplicações de fundição por compressão de alumínio.

Também é surpreendente que as propriedades mecânicas e/ou térmicas restantes dos aços para ferramentas de acordo com a invenção (particularmente, aços para trabalho a quente) puderam ser aperfeiçoados em comparação com aços para ferramentas, conhecidos do estado da técnica.

ca, ou pelo menos permaneceram inalterados. O módulo de elasticidade, por exemplo, pode ser diminuído, a densidade dos aços para ferramentas de acordo com a invenção (particularmente, aços para trabalho a quente) pode ser aumentada, em comparação com aços para trabalho a quente convencionais, e o coeficiente de dilatação térmica pode ser diminuído. Para algumas aplicações, puderam ser obtidos outros aperfeiçoamentos, tal como, por exemplo, uma resistência mecânica mais alta, a temperaturas elevadas, ou uma resistência ao desgaste aumentada.

Em uma modalidade preferida, é proposto que o aço para ferramentas apresente menos de 1,5% em peso de Cr, de preferência, menos de 1% em peso de Cr. Em uma modalidade particularmente preferida, existe a possibilidade de que o aço para ferramentas apresente menos de 0,5% em peso de Cr, de preferência, menos de 0,2, especialmente menos de 0,1% em peso de Cr.

Tal como explicado acima, a presença de cromo no estado de solução de sólido na matriz do aço para ferramentas tem um efeito negativo sobre a condutividade térmica do mesmo. A intensidade desse efeito negativo sobre a condutividade térmica, por um aumento do teor de cromo no aço para ferramentas é o menor para o intervalo de menos de 0,4% em peso de Cr. Uma graduação de intervalo na redução da intensidade do efeito desvantajoso sobre a condutividade térmica do aço para ferramentas é preferida nos dois intervalos, de mais de 0,4% em peso, mas menos de 1% em peso, bem como mais de 1% em peso e menos de 2% em peso. Para aplicações, nas quais a resistência à oxidação do aço para ferramentas (aço para trabalho a quente) desempenha um papel importante, pode, desse modo, ser realizada uma avaliação das exigências que são feitas ao aço para ferramentas, com vista à condutividade térmica e à resistência à oxidação, e refletir-se em uma parte percentual em peso otimizada de cromo. Em geral, um teor de cerca de 0,8% em peso de cromo põe à disposição do aço para ferramentas uma boa proteção contra corrosão. Mostrou-se que adições, que excedem esse teor de cerca de 0,8% em peso de cromo, podem ter como consequência uma dissolução indesejável de cromo nos carburetos.

Em uma modalidade preferida, existe a possibilidade de que o teor de molibdênio do aço para ferramentas perfaça 0,5 a 7% em peso, particularmente, 1 a 7% em peso. Entre os formadores de carbureto de melhor preço, molibdênio possui uma afinidade para carbono comparativamente alta. Além disso, carburetos de molibdênio apresentam uma condutividade térmica mais alta do que carburetos de ferro e cromo. Além disso, o efeito desvantajoso de molibdênio no estado de solução de sólido sobre a condutividade térmica do aço para ferramentas é consideravelmente menor, em comparação com cromo no estado de solução de sólido. Por essas razões, molibdênio pertence aos formadores de carbureto, que são apropriados para um grande número de aplicações. Para aplicações que exigem uma alta tenacidade, porém, outros formadores de carbureto, com carburetos secundários menores, tal como, por exemplo, vanádio (colônias com tamanho de cerca de 1 a 15 nm em relação a colônias com tamanho de até 200 nm, em molibdênio) são a opção mais vantajosa.

Em numerosas aplicações, o molibdênio pode ser substituído pelo tungstênio. A afinidade com carbonato de tungstênio é um pouco menor e a condutividade térmica de carbureto de tungstênio é consideravelmente maior.

Em uma outra modalidade particularmente vantajosa, existe a possibilidade de que o teor de Mo, W e V perfaça, na soma, 2 a 10% em peso. O teor desses três elementos, na soma, depende, nesse caso, particularmente, do número de carburetos desejado, isto é, das respectivas exigências da aplicação.

As impurezas do aço para ferramentas, particularmente, aço para trabalho a quente, podem conter um ou mais dos elementos Cu, P, Bi, Ca, As, Sn ou Pb, com um teor de, no máximo, 1% em peso, individualmente ou na soma. Particularmente Cu, além de Co, Ni, Si e Mn é um outro elemento apropriado para solidificação de solução de sólido, de modo que pelo menos uma pequena porção de Cu na liga pode, opcionalmente, ser vantajosa. Além de S, que pode estar opcionalmente presente, com um teor de, no máximo, 1% em peso, também os elementos Ca, Bi ou As podem simplificar a trabalhabilidade do aço para ferramentas.

Também é de importância a estabilidade mecânica do aço para ferramentas a temperaturas elevadas dos carburetos formadores de liga. Nesse sentido, por exemplo, tanto carburetos de Mo como também de W, são mais vantajosos com relação às propriedades de estabilidade e solidez, do que carburetos de cromo e ferro. Uma redução no teor de cromo, junto com a diminuição do teor de carbono na matriz, leva a uma condutividade térmica aperfeiçoada, particularmente, quando isso ocorrer por carburetos de tungstênio e/ou molibdênio.

Os processos, com os quais são produzidos os aços para ferramentas aqui apresentados (particularmente aços para trabalho a quente), também desempenham um papel importante para as propriedades térmicas e mecânicas dos mesmos. Pela escolha controlada do processo de produção, as propriedades mecânicas e/ou térmicas do aço para ferramentas podem, desse modo, ser variadas de modo controlado e, com isso, adaptadas à respectiva finalidade de uso.

Os aços para ferramentas, descritos no contexto da presente invenção, podem ser produzidos, por exemplo, por metalurgia de pó (compressão isostática a quente). Também existe, por exemplo, a possibilidade de produzir um aço para ferramentas de acordo com a invenção por fusão por indução de vácuo ou por fusão no forno. Mostrou-se, surpreendentemente, que o processo de produção, escolhido, em cada caso, pode influenciar o tamanho de carbureto resultante, que, por sua vez – tal como já mencionado acima – pode ter efeitos sobre a condutividade térmica e as propriedades mecânicas do aço para ferramentas.

Além disso, o aço para ferramentas também pode ser beneficiado por processos de beneficiamento conhecidos, tal como, por exemplo, por processos de VAR (VAR = Vacuum Arc Remelting; Refusão de Arco sob Vácuo), processos de AOD (AOD = Argon Oxygen Decarburation; Descarburacão por Argônio-Oxigênio), ou chamados processos de ESR (ESR: ing. Electro Slag Remeting).

Do mesmo modo, um aço para ferramentas de acordo com a invenção pode ser produzido, por exemplo, por fundição de areia ou fina. Ele

pode ser produzido por compressão a quente ou um outro processo metalúrgico de pó (sinterização, compressão a frio, compressão isostática) e, em todos esses processos de produção, com ou sem uso de processos termomecânicos (forja, laminação, extrusão). Também podem ser usados métodos de produção menos convencionais, tais como tixofundição (ing.: thixocasting), aplicação por plasma ou laser, bem como sinterização local. Para também produzir objetos do aço para ferramentas, com uma composição que se altera dentro do volume, pode ser usada, vantajosamente, a sinterização de misturas de pó.

5 O aço envolvido no contexto da invenção também pode ser usado como material aditivo para solda (por exemplo, em forma de pó para solda por laser, como barra ou perfil para a solda de metal sob gás inerte (solda de MIG) solda de metal sob gás ativo (solda de MAG), solda de tungstênio sob gás inerte (solda de WIG) ou para solda com elétrodos revestidos).

15 De acordo com a reivindicação 24, é proposto um uso de um aço para ferramentas, particularmente, de um aço para trabalho a quente, de acordo com uma das reivindicações 4 a 23, como material para produção de um objeto de aço para trabalho a quente, particularmente, de uma ferramenta para trabalho a quente, que apresenta uma condutividade térmica, à temperatura ambiente, de mais de 42 W/mK, de preferência, uma condutividade térmica de mais de 48 W/mK, particularmente, uma condutividade térmica de mais de 55 W/mK.

25 Um objeto de aço de acordo com a invenção distingue-se pelas características da reivindicação 25 e consiste, pelo menos parcialmente, em um aço para ferramentas, particularmente, em um aço para trabalho a quente, de acordo com uma das reivindicações 4 a 23.

30 Em uma modalidade vantajosa, existe a possibilidade de que o objeto de aço apresenta sobre todo seu volume uma condutividade térmica substancialmente constante. Particularmente, o objeto de aço pode consistir, nessa modalidade, totalmente em um aço para ferramentas, particularmente, em um aço para trabalho a quente, de acordo com uma das reivindicações 4 a 23.

Em uma modalidade particularmente vantajosa, pode estar previsto que o objeto de aço apresenta uma condutividade térmica que se modifica pelo menos em partes.

De acordo com uma modalidade particularmente preferida, o objeto de aço pode apresentar, à temperatura ambiente, pelo menos em partes, uma condutividade térmica de mais de 42 W/mK, de preferência, uma condutividade térmica de mais de 48 W/mK, particularmente, uma condutividade térmica de mais de 55 W/mK. O objeto de aço também pode apresentar, à temperatura ambiente, sobre todo seu volume, uma condutividade térmica de mais de 42 W/mK, de preferência, uma condutividade térmica de mais de 48 W/mK, particularmente, uma condutividade térmica de mais de 55 W/mK.

Em modalidades vantajosas, o objeto de aço pode ser, por exemplo, uma ferramenta de moldar em processos da transformação por pressão, da transformação por cisalhamento, ou transformação por flexão de metais, de preferência, em processos de forma de forma livre, processos de forja em estampa, processos de tixo-forja, processos de extrusão, processos de extrusão, processos de flexão de estampa, processos de perfilação por laminação ou em processos de laminação plana, perfil e fundição.

Em outras modalidades vantajosas, o objeto de aço pode ser uma ferramenta de moldar em processos da transformação por compressão de tração e transformação por tração de metais, de preferência, em processos de têmpera de pressão, processos de endurecimento de molde, processos de embutimento em profundidade, processos de estiragem e processos de trefilagem de colar ("kragenziehprozessen").

Em outras modalidade preferidas, o objeto de aço pode ser uma ferramenta de moldar em processos da modelação original de materiais básicos metálicos, de preferência, em processos de fundição por pressão, processos de fundição por pressão a vácuo, processos de tixo-fundição, processos de laminação de fundição, processos de sinterização e processos de compressão isostáticos a quente.

Além disso, existe a possibilidade de que o objeto de aço é uma

ferramenta de moldar em processos da moldação original de materiais básicos poliméricos, de preferência, em processos de fundição injetada, processos de extrusão e processos de sopradores de extrusão, ou uma ferramenta de moldar em processos da moldação original de materiais básicos cerâmicos, de preferência, em processos de sinterização.

Em uma outra modalidade preferida, o objeto de aço pode ser um componente para máquinas e instalações de geração de energia e da transformação de energia, de preferência, para motores de combustão interna, reatores, trocadores de calor e geradores.

Existe, ainda, a possibilidade de que o objeto de aço seja um componente para máquinas e instalações da tecnologia de processo química, de preferência, para reatores químicos.

Outras características e vantagens da presente invenção ficam claros por meio da descrição abaixo de exemplos preferidos, sob referências às figuras anexas. Nas mesmas mostram

figura 1 uma representação de contorno fortemente simplificada esquematicamente no corte transversal microestrutural de um aço para ferramentas típico;

figura 2 a resistência ao desgaste por abrasão de duas amostras (F1 e F5) de um aço para trabalho a quente de acordo com a presente invenção, em comparação com aços para ferramentas convencionais;

figura 3 a dependência da condutividade térmica do teor de cromo de aços para ferramentas de acordo com a invenção (aços para trabalho a quente), que são apropriados para uso em processos de transformação a quente;

figura 4 a dependência da condutividade térmica do teor de cromo para uma outra escolha de aços para ferramentas de acordo com a presente invenção;

figura 5 uma representação da descarga de calor obtida através da condução de calor em um contato nos dois lados com duas placas de aço para ferramentas, em uma peça a trabalhar aquecida previamente.

Inicialmente, devem ser explicados mais detalhadamente cinco

exemplos de aços para ferramentas (aços para trabalho a quente), que são apropriados para diferentes finalidades de uso.

Exemplo 1

5 Mostrou-se que para produção de ferramentas (objetos de aço para trabalho a quente), que são usadas para transformação a quente ("hotstamping" estampagem a quente) de chapas de aço, é particularmente vantajoso o uso de um aço para trabalho a quente com a seguinte composição:

10 0,32 a 0,5% em peso de C;
menos de 1% em peso de Cr;
0 a 4% em peso de V;
0 a 10% em peso, particularmente, 3 a 7% em peso de Mo;
0 a 15% em peso, particularmente, 2 a 8% em peso de W;
sendo que o teor de Mo e W perfaz, na soma, 5 a 15% em peso.

15 Além disso, o aço para trabalho a quente contém impurezas inevitáveis e como componente principal, ferro. Opcionalmente, o aço para trabalho a quente pode conter fortes formadores de carbureto, tais como, por exemplo, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, com um teor de até 3% em peso, individualmente ou na soma. Nessa aplicação, a resistência à abrasão da ferramenta produzida do aço para trabalho a quente desempenha um papel particularmente
20 importante. O volume dos carburetos primários formado deve, portanto, ser o maior possível.

Exemplo 2

25 A fundição por compressão de alumínio é, nos dias de hoje, um mercado muito importante, no qual as propriedades dos aços para trabalho a quente, usados para a produção das ferramentas, desempenham um papel importante para a capacidade de concorrência. As propriedades mecânicas a temperaturas elevadas do aço para trabalho a quente, usado para produção de uma ferramenta para fundição por compressão, são, nesse caso, de
30 importância especial. Nesse caso, é particularmente importante a vantagem de uma condutividade térmica mais alta, uma vez que não só é possibilitada uma redução do tempo de ciclo, mas também é diminuída a temperatura

superficial da ferramenta e o gradiente de temperatura na ferramenta. Os efeitos positivos sobre a durabilidade das ferramentas são, nesse caso, consideravelmente extensos. Em aplicações de fundição por compressão, particularmente em relação à fundição por compressão de alumínio, é particularmente vantajoso o uso de um aço para trabalho a quente como material para produção de uma ferramenta correspondente, com a seguinte composição:

- 0,3 a 0,42% em peso de C;
menos de 2% em peso, particularmente, menos de 1% em peso
10 de Cr;
0 a 6% em peso, particularmente, 2,5 a 4,5% em peso de Mo;
0 a 6% em peso, particularmente, 1 a 2,5% em peso de W;
sendo que o teor de Mo e W perfaz, na soma, 3,2 a 5,5% em
peso.
15 0 a 1,5% em peso, particularmente, 0 a 1% em peso de V.

Além disso, o aço para trabalho a quente contém ferro (como componente principal) e impurezas inevitáveis. Opcionalmente, o aço para trabalho a quente pode conter fortes formadores de carbureto, tais como, por exemplo, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, com um teor de até 3% em peso, individualmente ou na soma.

Em aplicações de fundição por compressão de alumínio, Fe_3C , se possível, não deve estar presente. Cr e V, com adições de Mo e W, são, nesse caso, os elementos preferidos para substituir Fe_3C . Mas, de preferência, também Cr é substituído por Mo e/ou W. Para, em algumas aplicações, substituir vanádio, de preferência, totalmente, ou então, pelo menos parcialmente, também podem ser usados W e/ou Mo. Mas, alternativamente, também podem ser usados formadores de carbureto mais fortes, tais como, por exemplo, Ti, Zr, Hf, Nb ou Ta. A escolha dos formadores de carbureto e suas quantidades dependem, por sua vez, da aplicação concreta e das exigências com relação às propriedades térmicas e/ou mecânicas da ferramenta, que é produzida do aço para trabalho a quente.

Exemplo 3

Na fundição por compressão de ligas com um ponto de fusão relativamente alto, é vantajoso o uso de um aço para trabalho a quente, para produção de uma ferramenta correspondente, com a seguinte composição:

- 5 0,25 a 0,4% em peso de C;
 menos de 2% em peso, particularmente, menos de 1% em peso
 de Cr;
 0 a 5% em peso, particularmente, 2,5 a 4,5% em peso de Mo;
 0 a 5% em peso, particularmente, 0 a 3% em peso de W;
 10 sendo que o teor de Mo e W perfaz, na soma, 3 a 5% em peso;
 0 a 1% em peso, particularmente, 0 a 0,6% em peso de V.

Além disso, o aço para trabalho a quente contém impurezas inevitáveis e como componente principal, ferro. Opcionalmente, o aço para trabalho a quente pode conter fortes formadores de carbureto, tais como, por exemplo, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, com um teor de até 3% em peso, individualmente ou na soma. Nessa aplicação, é necessária uma tenacidade do aço para trabalho a quente, de modo que carburetos primários devem ser suprimidos, o mais completamente possível, e, desse modo, formadores de carbureto estáveis são mais vantajosos.

20 Exemplo 4

Na fundição injetada de matérias sintéticas, bem como na fundição por compressão de ligas com um ponto de fusão relativamente baixo, é particularmente vantajoso o uso de um aço para trabalho a quente, para produção de uma ferramenta correspondente, com a seguinte composição:

- 25 0,4 a 0,55% em peso de C;
 menos de 2% em peso, particularmente, menos de 1% em peso
 de Cr;
 0 a 4% em peso, particularmente, 0,5 a 2% em peso de Mo;
 0 a 4% em peso, particularmente, 0 a 1,5% em peso de W;
 30 sendo que o teor de Mo e W perfaz, na soma, 2 a 4% em peso;
 0 a 1,5% em peso de V.

Além disso, o aço para trabalho a quente contém ferro como

(componente principal) e impurezas inevitáveis. Opcionalmente, o aço para trabalho a quente pode conter fortes formadores de carbureto, tais como, por exemplo, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, com um teor de até 3% em peso, individualmente ou na soma. Nessas áreas de aplicação, a quantidade de vanádio deve ser mantida a menor possível. De preferência, o teor de vanádio do aço para trabalho a quente pode perfazer menos de 1% em peso e, particularmente, menos de 0,5% em peso e, em uma modalidade particularmente preferida, menos de 0,25% em peso.

As exigências com relação às propriedades mecânicas das ferramentas são relativamente pequenas na fundição injetada. Uma resistência mecânica de cerca de 1500 MPa é, em geral, suficiente. Mas, uma condutividade térmica mais alta possibilita um encurtamento dos tempos de ciclo na produção de peças de fundição injetada, de modo que os custos para a produção das peças de fundição injetada podem ser diminuídos.

15 Exemplo 5

Na forma a quente, é particularmente vantajoso usar um aço para trabalho a quente, para a produção de uma ferramenta correspondente, que apresenta a seguinte composição:

0,4 a 0,55% em peso de C;
menos de 1% em peso de Cr;
0 a 10% em peso, particularmente, 3 a 5% em peso de Mo;
0 a 7% em peso, particularmente, 2 a 4% em peso de W;
sendo que o teor de Mo e W perfaz, na soma, 6 a 10% em peso;
0 a 3% em peso, particularmente, 0,7 a 1,5% em peso de V.

Além disso, o aço para trabalho a quente contém ferro como componente principal e impurezas inevitáveis. Opcionalmente, o aço para trabalho a quente pode conter fortes formadores de carbureto, tais como, por exemplo, Ti, Zr, Hf, Nb, Ta, com um teor de até 3% em peso, individualmente ou na soma.

Vantajosamente, o aço para trabalho a quente, nesse exemplo, pode conter elementos para solidificação de solução de sólido, particularmente, Co, mas também Ni, Si, Cu e Mn. Mostrou-se vantajoso, particular-

mente, um teor de te 6% em peso de Co, pra aperfeiçoar a resistência a temperaturas elevadas da ferramenta.

5 Com ajuda dos aços para trabalho a quente, aqui descritos exemplificadamente, que são apropriados para uma pluralidade de aplicações diferentes, pode ser obtida uma condutividade térmica, que é cerca de duas vezes maior do que a dos aços para trabalho a quente conhecidos.

10 Na tabela 1 são mostrados alguns valores característicos termo-elásticos de cinco exemplos de amostras (amostra F1 até amostra F5) de um aço para trabalho a quente de acordo com a presente invenção, em comparação com aços para ferramentas convencionais. Observa-se, por exemplo, que os aços para trabalho a quente apresentam uma densidade mais alta do que os aços para ferramentas conhecidos. Além disso, os resultados mostram que a condutividade térmica das amostras do aço para trabalho a quente de acordo com a invenção está aumentada drasticamente, em
15 comparação com os aços para ferramentas convencionais.

Na tabela 2 estão resumidas as propriedades mecânicas de duas amostras de aço para trabalho a quente (amostra F1 e F5) de acordo com a presente invenção, em comparação com aços para ferramentas convencionais.

20 Na figura 2 está representada a resistência à abrasão de duas amostras (F1 e F5) de um aço para trabalho a quente, em comparação com aços para ferramentas convencionais. A resistência à abrasão foi determinada, nesse caso, com ajuda de um pino, que foi produzido do aço correspondente, e um disco de uma chapa USIBOR-1500P. A amostra "1.2344" é,
25 nesse caso, a amostra de referência (resistência à abrasão: 100%). Um material com uma resistência à abrasão de 200% apresenta, portanto, uma resistência à abrasão duas vezes mais alta do que a amostra de referência e, portanto, só sofre metade da perda de peso durante o processo do teste de abrasão. Observa-se que as amostras do aço para trabalho a quente de acordo com a invenção apresentam, em comparação com a maioria dos aços conhecidos, uma resistência à abrasão muito alta.
30

A seguir, devem ser explicados mais detalhadamente outros e-

xemplos preferidos de aços para ferramentas, particularmente, aços para trabalho a quente, de acordo com a presente invenção e as propriedades dos mesmos.

5 A condutividade térmica e de temperatura são os parâmetros de material termofísicos mais importantes para a descrição das propriedades de transporte de calor de um material ou componente. Para a medição exata da condutividade de temperatura, impôs-se a chamada “técnica de flash de laser” (LFA) como método absoluto rápido, versátil e preciso. As instruções de teste correspondentes estão fixadas nas normas correspondentes DIN 10 30905 e DIN EN 821. Para as presentes medições, foi usado o LFA 456 Micro-Flash® da empresa NETZSCH-Gerätebau GmbH, Wittelsbacherstrasse 42, 85100 Selb/Bayern (Alemanha).

Das condutividades de temperatura medidas a e do calor específico c_p , bem como da densidade determinada especificamente para a amostra p , a condutividade térmica λ pode depois ser calculada muito facilmente, 15 com base na equação de cálculo

$$\lambda = p \cdot c_p \cdot a.$$

Na figura 3 está representada a dependência, determinada de acordo com esse método, da condutividade térmica da parte em peso de cromo, para uma escolha de aços para ferramentas, com a composição química caracterizada na tabela 3 com FC ou FC+xCr. Nesse caso, a composição diferencia-se, sobretudo, na parte percentual em peso do elemento de liga cromo. 20

Além do ajuste possível, de acordo com a invenção, de propriedades de condução térmica desejáveis, esses aços apresentam adicionalmente, devido a uma parte em volume comparativamente alta de carburetos primários, uma alta resistência contra desgaste abrasivo e adesivo e, desse modo, são apropriados para solicitações mecânicas altas, tais como ocorrem, tipicamente, em processos de transformação a quente. 25

Na figura 4 está representada a dependência, determinada de acordo com o método descrito acima, da condutividade térmica da parte em 30

peso de cromo para uma escolha de aços para ferramentas, com a composição química caracterizada na tabela 4 com FM ou FM+xCr. Nesse caso, as composições diferenciam-se, sobretudo, pela parte percentual em peso do elemento de liga cromo. Esses aço para ferramentas são apropriados, particularmente, para uso em processos de fundição por compressão, uma vez que estão caracterizados por uma quantidade comparativamente pequena de carburetos primários.

Na tabela 5 está resumida a composição química de um aço para ferramentas F de acordo com a invenção, para o exame comparativo da conduta do processo.

Sob condições de processo, tais como predominam, entre outros, também na transformação de chapas a quente, através de uma medição de temperatura pirométrica, pode ser comprovada com um aço para ferramentas, que apresenta a composição química, caracterizada com F na tabela 5, em comparação com um aço para ferramentas convencional, com a designação 1.2344 de acordo com DIN 17350 EM ISSO 4957, uma descarga acelerada do calor armazenado, através do aquecimento prévio, na peça a trabalhar. Os resultados das medições de temperatura pirométricas estão resumidos na figura 5.

Considerando-se a temperatura de ferramenta de cerca de 200°C, usual nesses processos, então, através do aço para ferramentas de acordo com a invenção usado nesse caso, pode ser obtido um encurtamento do tempo de resfriamento de cerca de 50%.

Além do aspecto inventivo do ajuste básico da condutividade térmica pela escolha apropriada da composição química, a presente invenção também compreende o aspecto do ajuste fino por um tratamento térmico definido.

Na tabela 6 está representada, exemplificadamente, a influência de diferentes condições de tratamento térmico para as variantes de liga F, com a composição química resumida na tabela 5, bem como FC, com a composição química resumida na tabela 3, sobre a condutividade térmica resultante.

A razão para a condutividade térmica, que se ajusta de modo diferente, na dependência do tratamento térmico, é a parte em volume de carburetos, que se modifica com isso, e sua distribuição e morfologia modificadas.

5 Já foi mencionado previamente que, com relação a um aumento da condutividade térmica, a parte em peso de carbono na composição química de uma liga de acordo com a invenção, inclusive dos componentes N e B equivalentes de carbono (equivalente de carbono $x_{Ceq} = x_C + 0,86 \cdot x_N + 1,2 \cdot x_B$, sendo que x_C designa a parte percentual em peso de C, x_N , a parte
10 percentual em peso de N, e x_B , a parte percentual em peso de B), deve ser ajustada de tal modo que permaneça o menos possível de carbono em solução na matriz. O mesmo vale para a parte em peso de molibdênio x_{MO} (% de Mo) e tungstênio x_W (% de W); os mesmos, se possível, também não devem permanecer em forma dissolvida na matriz, mas, de preferência, contribuir para a formação de carburetos. Isso vale de forma similar também
15 para todos os outros elementos; também os mesmos devem contribuir para a formação de carburetos e, portanto, não permanecer em forma dissolvida na matriz, mas, de preferência, servir para ligar carbono e, opcionalmente, aumentar a resistência ao desgaste, no caso de solicitação mecânica.

20 As afirmações feitas acima podem ser transformadas – se bem que com algumas restrições – em uma fórmula de descrição geral, na forma de uma equação para um valor característico do aço para ferramentas:

$$HC = x_{Ceq} - AC \cdot [x_{Mo}/(3 \cdot A_{Mo}) + x_W/(3 \cdot A_W) + (x_V - 0,4)/A_V]$$

Nessa equação designam:

25 x_{CEq} - a parte percentual em peso do equivalente de carbono (tal como definido acima);

x_{Mo} - a parte percentual em peso de molibdênio;

x_W - a parte percentual em peso de tungstênio;

x_V - a parte percentual em peso de vanádio;

AC - a massa atômica de carbono (12,0107 μ);

AMo, a massa atômica de molibdênio (95,94 μ);

AW - a massa atômica de tungstênio (183,84 μ);

AV - a massa atômica de vanádio (50,9415).

O valor de HC deve ficar, vantajosamente, entre 0,03 e 0,155. O
5 valor de HC também pode ficar entre 0,05 e 0,156, particularmente, entre
0,09 e 0,15.

O fator 3 aparece na equação apresentada acima para o caso
de serem esperados carburetos do tipo M₃C ou M₃Fe₃C na microestrutura
do aço para ferramentas de acordo com a invenção; M representa, nesse
10 caso, qualquer elemento metálico. O fator 0,4 aparece devido ao fato de que
a parte percentual em peso desejado de vanádio (V) é adicionada na produ-
ção da liga, na maioria das vezes em composição química, na forma de car-
buretos, e, desse modo, também está presente até essa parte como carbu-
reto metálico MC.

15 Outras áreas de aplicação dos aços para ferramentas (aços para trabalho a
quente) de acordo com a invenção

Com relação ao uso adicional de exemplos de modalidade prefe-
ridos de aços para ferramentas de acordo com a invenção (particularmente,
aços para trabalho a quente), são concebíveis, em princípio, aquelas áreas
20 de aplicação, nas quais uma condutividade térmica alta ou um perfil ajustado
de modo definido de condutividades térmicas variáveis tem uma consequên-
cia positiva sobre o comportamento de aplicação da ferramenta usada e so-
bre as propriedades dos produtos produzidos dos mesmos.

Com a presente invenção pode ser obtido um aço com uma
25 condutividade térmica exatamente definida. Existe até mesmo a possibilida-
de de, por uma modificação da composição química, ser obtido um objeto de
aço, que consiste, pelo menos parcialmente, em um dos aços para ferra-
mentas (aços para trabalho a quente) aqui apresentados, com uma conduti-
vidade térmica que se modifica sobre o volume. Nesse caso, pode ser usado
30 qualquer processo que possibilite uma modificação da composição química
dentro do objeto de aço, tal como, por exemplo, a sinterização de misturas
de pó, sinterização local ou fusão local ou os chamados processos de "Ra-

pid-Tooling” ou “Rapid-Prototyping” ou uma combinação de “Rapid-Tooling” e Rapid-Prototyping”.

Além das aplicações já mencionadas na área da transformação de chapa (têmpera de compressão, têmpera de moldação) e a fundição por compressão de metal leve, em geral os processos de fundição de metal ligados a ferramentas e moldes, fundição injetada de matéria sintética e processos da transformação (extrusão, prensagem por extrusão, laminação), são as áreas de aplicação preferidas para os aços para trabalho a quente de acordo com a invenção.

Por parte dos produtos, os aços aqui apresentados criam pressupostos ideais para seu uso para a produção de camisas de cilindros em motores de combustão interna, para ferramentas para levantamento de aparas ou discos de freio.

Na tabela 7 são apresentados, além das variantes de liga já apresentadas nas tabelas 3 e 4, outros exemplos de modalidade de aços para ferramentas (aços para trabalho a quente) de acordo com a invenção.

Aplicações preferidas das variantes de liga apresentadas na tabela 7 são:

- FA; fundição por compressão de alumínio;
- FZ: transformação de cobre e ligas de cobre (inclusive latão);
- FW: fundição por compressão de cobre e ligas de cobre (inclusive latão), bem como ligas metálicas de fusão mais alta;
- FV: transformação de cobre e ligas de cobre (inclusive latão);
- FAW: fundição por compressão de cobre e ligas de cobre (inclusive latão), bem como ligas metálicas de fusão mais alta;
- FA Mod1: fundição por compressão de componentes de volume grande de cobre e ligas de cobre (inclusive latão) e alumínio;
- FA Mod2: transformação de alumínio;
- FC Mod1: transformação de chapa a quente (têmpera de pressão, têmpera de moldação), com alta resistência ao desgaste;
- FC Mod.: transformação de chapa a quente (têmpera de pressão, têmpera de moldação), com alta resistência ao desgaste;

Tabela 1

Material	Densidade [g/cm ³]	Calor específico- co [J/kg K]	Capacidade de conduti- vidade térmica [W/mK]	Condutância [mm ² /s]	Módulo de elasti- cidade [GPa]	Índice de Poisson
Aços para ferramentas convencionais						
W,Nr,-1,2343	7,750	462	24,621	6,876	221,086	0,28014
W,Nr,-1,2344	7,665	466	24,332	6,811	224,555	0,28123
W,Nr,-1,2365	7,828	471	31,358	8,505	217,124	0,28753
W,Nr,-1,2367	7,806	460	29,786	8,295	220,107	0,28140
Exemplos de aços para trabalho a quente da presente invenção						
Probe F1	7,949	444	56,633	16,0319	197,18	0,2821
Probe F2	7,969	454	58,464	16,1594		
Probe F3	7,965	449	55,550	15,5328		
Probe F4	7,996	479	61,127	15,9364		
Probe F5	7,916	440	64,231	18,4411	195,02	0,2844

Tabela 2

Material	Dureza [HRC]	Limite de alongamento [MPa]	Resistência mecânica [MPa]	Alongamento de ruptura [%]	Elasticidade [J]	Resistência à ruptura K_{Ic} [MPa m ^{-1/2}]	de fadiga K_{TH} [MPa m ^{-1/2}]
W.Nr.1.2343	44-46	1170	1410	16	322	56	4,8
W.Nr.1.2343	44-46	1278	1478	14	364	49	4,7
W.Nr.1.2365	44-46	1440	1570	12	289	43	
W.Nr.1.2367	44-46	1300	1490	13	215	41	
Probe F5	44-46	1340	1510	16	> 450	64	5,5
Probe F1	50-52	1560	1680	8	405	41	4,8

Tabela 3

	Composição química										λ [W/mK]
	%C	%Cr	%Mo	%W	%V	%Mn	%Si	outros			
FC	0,35	0,03	4	3,3	0,016	0,2	0,03				66
FC+0,5Cr	0,34	0,4	4	3,3	0,016	0,2	0,03				48,8
FC+1Cr	0,34	1,01	4	3,3	0,016	0,2	0,03				44,8
FC+1,5Cr	0,34	1,4	4	3,3	0,016	0,2	0,03				42,6
FC+2Cr	0,34	2,04	4	3,3	0,016	0,2	0,03				41,5
FC+3Cr	0,33	2,9	3,9	3,2	0,015	0,2	0,03				37,6

Tabela 4

	Composição química										λ [W/mK]
	%C	%Cr	%Mo	%W	%V	%Mn	%Si	outros			
FM	0,33	0,02	4,3	<0,1	0,01	0,24	0,22			61	
FM+0,5Cr	0,33	0,6	4,3	<0,1	0,01	0,24	0,22			52	
FM+1Cr	0,33	0,8	4,3	<0,1	0,01	0,24	0,22			51	
FM+1,5Cr	0,33	1,64	4,3	<0,1	0,01	0,24	0,22			43	
FM+2Cr	0,33	2,07	4,3	<0,1	0,01	0,24	0,22			43	
FM+3Cr	0,32	3	4,2	<0,1	0,01	0,24	0,22			38	

Tabela 5

	Composição química							λ [W/mK]
	%C	%Cr	%Mo	%W	%V	%Mn	%Si	
F	0,32	0,02	3,8	3	0,009	0,2	0,04	61

Tabela 6

Variante de liga	Temperatura de austenitização T[°C]	Meio de refrigeração	Dureza [HRC]	λ [W/mK]
F	1040	Ar	41	57
F	1060	Ar	42	58
F	1080	Ar	40	61
F	1250	Ar	42	56
FC	1080	Óleo	47	52
FC	1080	Ar	44	66
FC	1060	Óleo	45	54
FC	1060	Ar	44	63

Tabela 7

	Composição química											λ [W/mK]
	%C	%Cr	%Mo	%W	%V	%Mn	%Si	outros				
FA	0,29	0,02	3,1	2,1	<0,01	0,27	0,1					58
FZ	0,29	0,02	3,3	0,76	0,5	0,32	0,15	Zr:0,11; Co:2,8; Hf:0,14				46
FW	0,27	0,02	2,18	4,1	<0,01	0,25	0,2					56
FV	0,35	0,015	3,3	1,7	0,61	0,27	0,13					51
FAW	0,28	0,02	2,58	3,0	<0,01	0,26	0,16					57
FA Mod1	0,3	0,01	4,0	1,1	<0,01	0,2	0,05					64
FA Mod2	0,37	0,8	4,5	1,5	<0,01	0,24	1,2					58
FC Mod1	0,5	<0,01	6,7	4	<0,01	0,3	0,04					72
F	0,32	0,02	3,8	3	0,009	0,2	0,04					61
FC Mod2	0,5	0,03	9	0,1	<0,01	0,2	0,03					70

REIVINDICAÇÕES

1. Aço para ferramentas, particularmente, aço para trabalho a quente **caracterizado por** compreender a seguinte composição:

- 5 0,25 a 1,00% em peso de C, N e B na soma;
 < 2% em peso de Cr;
 acima de 2% a 10% em peso de Mo;
 0 a 15% em peso de W;
 sendo que o teor de W e Mo perfaz, na soma, acima de 2,0 a
15% em peso;
- 10 elementos formadores de carbureto Zr e Hf com um teor de 0 a
0,25% em peso,
 individualmente ou na soma;
 0 a 0,61% em peso de V;
 0 a 2,8% em peso de Co;
- 15 0,03 a 1,2% em peso de Si;
 0,2 a 0,32% em peso de Mn;
 0 a 1% em peso de S;
- o restante sendo ferro e impurezas inevitáveis, sendo que o aço
para ferramentas possui condutibilidade térmica à temperatura ambiente de
20 mais de 42 W/mK, de preferência, uma condutibilidade térmica de mais de
48 W/mK, particularmente, uma condutibilidade térmica de mais de 55
W/mK.

2. Aço para ferramentas, particularmente, aço para trabalho a quente, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** o
25 aço para ferramentas contém menos de 1% em peso de Cr, de preferência,
menos de 0,5% em peso de Cr e, particularmente, menos de 0,1% em peso
de Cr.

3. Aço para ferramentas, particularmente, aço para trabalho a quente, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 2,
30 **caracterizado pelo fato de que** as impurezas contêm um ou mais dos
elementos Cu, P, Bi, Ca, As, Sn ou Pb, com um teor de, no máximo, 1% em
peso, individualment ou na soma.

4. Aço para ferramentas, particularmente, aço para trabalho a quente, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, **caracterizado pelo fato de que** um valor característico de $HC = x_{Ceq} - AC \cdot [x_{Mo}/(3 \cdot A_{Mo}) + x_W/(3 \cdot A_W) + (x_V - 0,4)/A_V]$ fica entre 0,03 e 0,165, 5 preferivelmente entre 0,05 e 0,158, particularmente entre 0,09 e 0,15, sendo que $x_{CEq} = x_C + 0,86 \cdot x_N + 1,2 \cdot x_B$ designa a parte percentual em peso do equivalente de carbono, x_{Mo} , a parte percentual em peso de molibdênio, x_W , a parte percentual em peso de tungstênio, x_V , a parte percentual em peso de vanádio, AC , a massa atômica de carbono, A_{Mo} , a massa atômica 10 de molibdênio, A_W , a massa atômica de tungstênio e A_V , a massa atômica de vanádio.

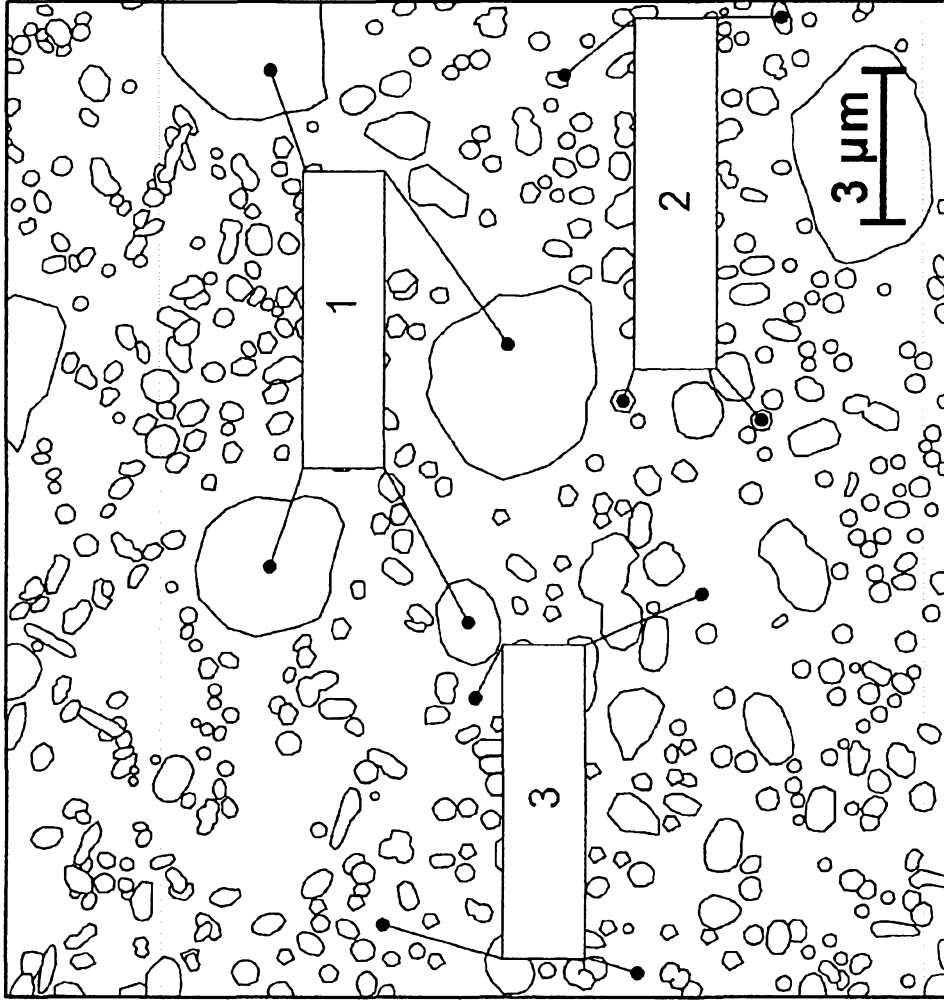
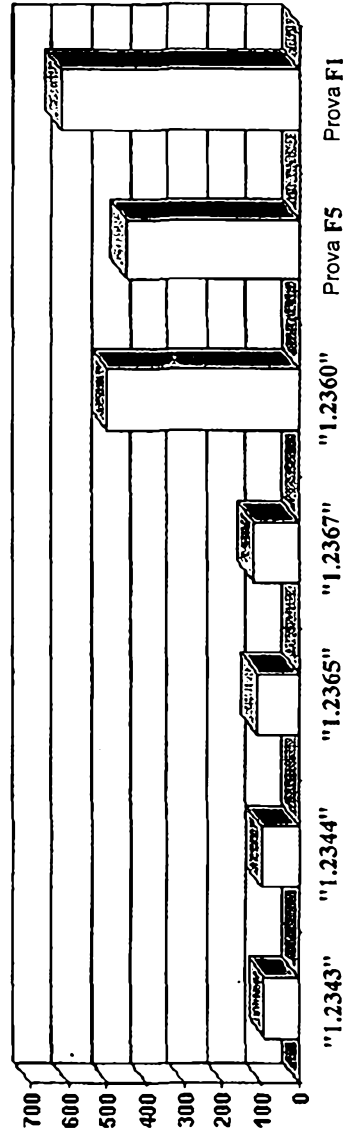


Fig. 1

Fig. 2



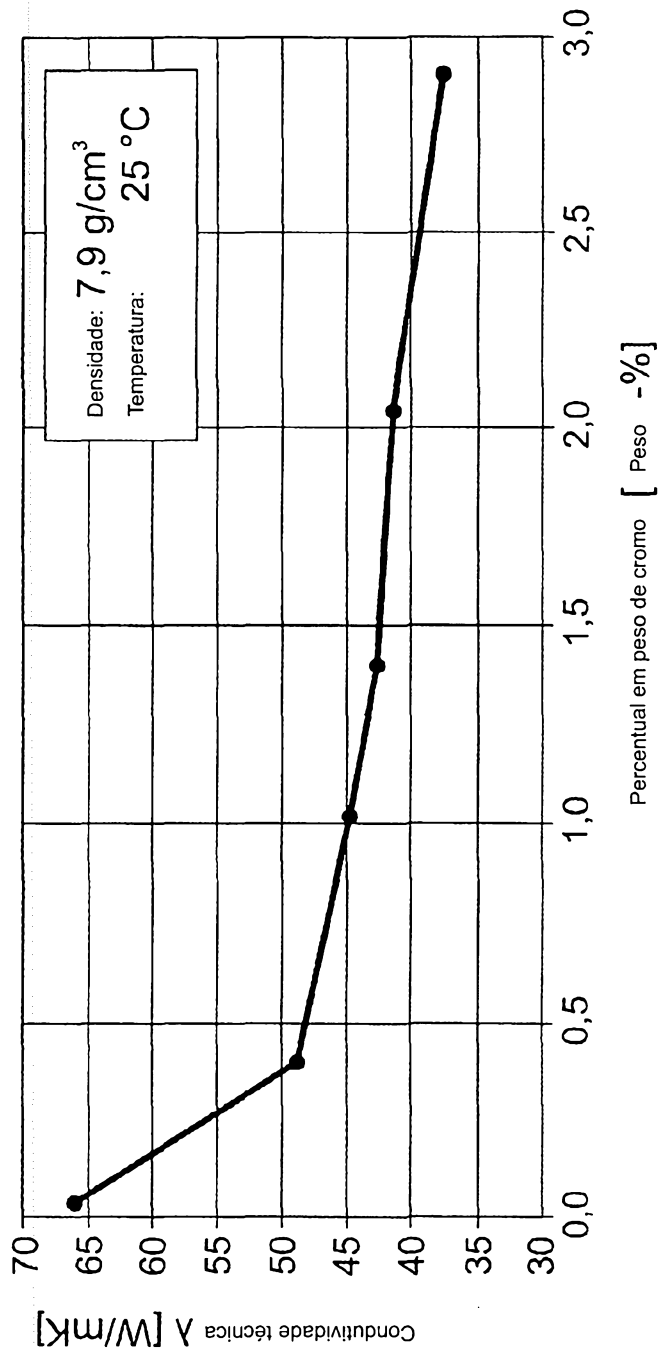


Fig. 3

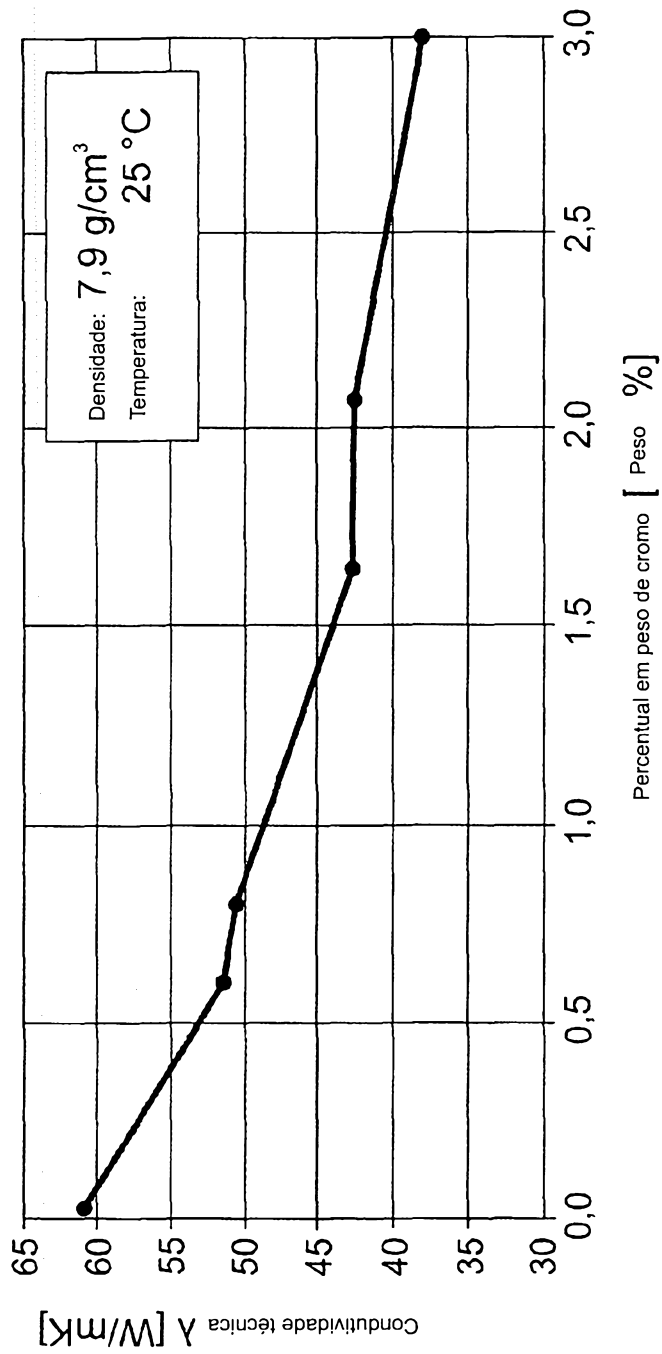


Fig. 4

