



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0921218-3 B1



(22) Data do Depósito: 02/11/2009

(45) Data de Concessão: 13/08/2019

(54) Título: PROCESSO PARA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES E DISPOSITIVO PARA A REALIZAÇÃO DE UMA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES

(51) Int.Cl.: B23Q 17/09; B23Q 17/12; G01H 1/14.

(52) CPC: B23Q 17/0976; B23Q 17/12; G01H 1/14.

(30) Prioridade Unionista: 07/11/2008 DE 20 2008 014 792.1.

(73) Titular(es): QASS GMBH.

(72) Inventor(es): ULRICH SEUTHE.

(86) Pedido PCT: PCT EP2009007830 de 02/11/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/051954 de 14/05/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 09/05/2011

(57) Resumo: PROCESSO E DISPOSITIVO PARA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES E BANCO DE DADOS DE AMOSTRAS CORRESPONDENTES E USO DE UM BANCO DE DADOS DE AMOSTRAS". A presente invenção refere-se a um processo e a um dispositivo para a análise de emissão sonora, sendo que durante o uso de um componente de construção, no exame de um componente de construção ou durante a usinagem de uma peça trabalhada por remoção de aparas, soldadura, deformação, junção e/ou corte, ou semelhante processo, gerando vibrações, passam a ser captadas e avaliadas, sendo que é registrado um espectro vibracional em diferentes períodos de tempo ou continuamente, sendo submetida a uma avaliação multidimensional.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "PROCESSO PARA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES E DISPOSITIVO PARA A REALIZAÇÃO DE UMA ANÁLISE DE VIBRAÇÕES".

Campo da Invenção

[001] A presente invenção refere-se a um processo e a um dispositivo para a análise do espectro de vibrações, gerado durante a utilização de um componente de construção, no exame de um componente de construção e/ou durante a usinagem de uma peça através de remoção de aparas, solda, deformação, junção e/ou separação ou semelhantes procedimentos. Além disso, a invenção também refere-se a um banco de dados de amostras e ao uso do mesmo.

Antecedentes da Invenção

[002] Para a observação da usinagem mecânica de peças são conhecidos muitos processos no estado da técnica.

[003] Assim sendo, a partir do documento DE 10 2005 034 768 A1 é conhecido um processo para o controle do estado operacional de uma máquina-ferramenta, a fim de diagnosticar estados críticos, já antes do surgimento de uma falha e assim evitar custos e trabalho originados por danos e falhas imprevistas. No processo conhecido, componentes giratórios de uma máquina-ferramenta, como são eventualmente rotores de fusos ferramenta - ou motor, bombas ou ventoinhas são controlados através de um sensor de vibrações. Para tanto, são registradas vibrações de baixa frequência pelo sensor de vibrações, a fim de reconhecer deficiências de balanceamento e/ou vibrações de ferramenta e assim, por exemplo, para reconhecer uma ferramenta de balanceamento deficiente, de regulação errônea ou gasta. A avaliação se verifica no caso de modo gráfico, na base de avaliação individual de amplitudes de sinal, com frequências predeterminadas. Uma avaliação desta natureza de vibrações individuais de baixa frequência como é conhecida a partir dos documentos DE 102 44 426 D4 e do DE

103 40 897 A1, todavia, se adapta apenas de forma condicionada para a avaliação de um processo de remoção de aparas, no tocante a qualidade da usinagem da peça de trabalho.

[004] Para a otimização de um processo de remoção de aparas, passou a ser conhecido do documento DE 698 04 982 T2 registrar vibrações de baixa frequência durante a usinagem da peça e, na dependência de informações sobre a ferramenta, indicar valores e orientação para as rotações da ferramenta, com as quais vibrações indesejadas podem ser eliminadas ou reduzidas.

[005] O documento DE 44 660 A1 também se ocupa com a redução ou o evitar dessas vibrações, acolhidas através de um sensor de vibrações e para tanto recorre a um mecanismo regulador.

[006] A partir do documento D 94 03 901 passou a ser conhecido um conjunto de sensores de vibrações para a obtenção de sinal do processo de usinagem, com remoção de aparas. No caso, um sensor de eco corpóreo está preso em um braço explorador que está em contato com a peça de trabalho, de maneira que sinais sonoros, ou seja, vibrações, gerados do processo de usinagem, são transferidas da peça de trabalho para o sensor. Não obstante, neste contexto, o documento D 94 03 901 fala de sinais sonoros, de alta frequência. Todavia, a expressão "alta frequência", em conexão com o documento DE 36 29 825 A1 empregado, que alimenta uma faixa de frequência entre 20 kHz e 2 MHz para a formação de um valor médio. Mesmo esta faixa de frequência quase não pode ser transmitida ou reconhecida através do acoplamento do braço explorador do documento D 94 03 901.

[007] A partir do documento DE 44 36 445 A1 passou a ser conhecido um processo para a avaliação de processos de remoção de aparas, no qual vibrações/sinais sonoros corpóreos de uma ferramenta, por um lado, sob regime de carga e, por outro lado, com idênticas rotações sem carga, são registrados, sendo que para cada rotação é

realizada uma comparação unidimensional do respectivo número de vibrações da operação sem carga e com carga, a fim de avaliar a ferramenta.

[008] A partir do documento WO 88/07911 e do WO 89/12528, passou a ser conhecida uma ferramenta de corte com um sensor sonoro integrado, que fornece um sinal de tensão unidimensional, proporcional à frequência vibratória.

[009] No documento DE 38 29 825 C2, na usinagem com remoção de aparas de uma peça de trabalho, o pico do sinal de sensor sonoro é registrado, na dependência da frequência, sendo avaliado através de intervalos de tempo, sendo feita a determinação da média. Uma comparação dos valores médios com valores de umbral ou valores teóricos resulta em conclusões sobre a qualidade da ferramenta, ou da própria usinagem.

[0010] Com todos os processos conhecidos existe a desvantagem de que a ferramenta ou o processo de remoção de aparas podem ser avaliados, apenas de forma insuficiente.

[0011] Além disso, os processos conhecidos estão restritos à usinagem de remoção de aparas.

[0012] Não são conhecidos no estado da técnica processos conhecidos, baseados no som para a observação de outros processos operacionais como eventualmente solda, (solda a laser, eletrosolda, etc.), deformação, junção e/ou separação, ou semelhantes procedimentos.

[0013] Assim sendo, atualmente são empregados sistemas ópticos para o controle de um processo a laser que medem a luz refletida pelo ponto de atuação e a partir do espectro, ou seja, da intensidade, procuram derivar como é recebido o efetivo processo a laser, pelo material. Nem sempre podem ser conseguidos resultados satisfatórios, porque se trata de unir entre si vários materiais e o processo da solda

transfixante, ou seja, se a energia a laser também produz a necessária fusão e transfixação térmica de todos os componentes, não pode ser examinado por emissão de laser refletida na superfície.

[0014] Além disso, também não são conhecidos no estado da técnica processos confiáveis, baseado no som, para a observação de peças trabalhadas na operação como, por exemplo, uma roda de aço de um vagão ferroviário, durante a operação da ferrovia ou um componente de um motor durante a operação. O processo de evitar falhas de componentes construídos, especialmente em usos relevantes no tocante ao aspecto de segurança como, por exemplo, no transporte de passageiros, por exemplo, através de ferrovias, aeronaves, e veículos automotores, ou em instalações com potencial de perigo como, por exemplo, usinas geradoras não podem ser deixados de lado, sendo possível de ser realizado somente com elevados custos, por ensaios regulares, fora do local da operação.

Sumário da Invenção

[0015] Partindo deste estado, a presente invenção tem como objetivo criar um processo e um dispositivo para análises de vibrações, especialmente análise sonora, bem como prover um banco de dados de amostras correspondentes e o uso de um banco de dados de amostras para uma análise vibratória, com o qual são viabilizadas as observações precisas e/ou a avaliação de um componente de construção, peça de trabalho, ferramentas e/ou processo de usinagem propriamente dito.

[0016] Esta tarefa será solucionada de acordo com as características das reivindicações 1, 16, 19 e 20.

[0017] Neste sentido, é criado um processo para a análise vibratória, no qual as vibrações de uma unidade construída ou peça de trabalho são registradas e avaliadas, sendo que um espectro de vibrações é registrado, em períodos diferentes ou continuamente, sendo submeti-

do a uma avaliação multidimensional.

[0018] As vibrações podem ser geradas durante o uso de uma unidade construída, como, por exemplo, uma roda de aço ou um eixo ferroviário em operação, no exame de uma unidade construída em estado montado ou desmontado, eventualmente com excitação externa de vibrações por batadura ou aplicação de som ou com movimentação etc;e/ou durante a usinagem de uma peça por remoção de aparas, soldaduras, deformação, junção e/ou separação ou semelhantes processos. O uso de uma análise de vibrações para cada um desses usos e para demais usos técnicos comparáveis é de significado inventivo específico.

[0019] O registro do espectro de vibrações, consoante a invenção, em diferentes tempos e preferencialmente de modo contínuo, ou quase contínuo, com uma taxa de amostragem conveniente, permite uma avaliação de dados multidimensional, que constitui a base para uma avaliação precisa de uma unidade construída, peça de trabalho, ferramenta e/ou usinagem.

[0020] A avaliação multidimensional de dados pode ser ilustrada para uma forma de realização preferida com três dimensões, por exemplo, com uma paisagem, a qual pode se estender, por exemplo, através de um eixo de frequência de um eixo temporal e de um eixo de amplitudes por um espaço dado. A paisagem visualiza as emissões sonoras no decurso temporal, quando apresenta pontos característicos, formando quase "uma impressão digital". Estes pontos característicos podem ser verificados com métodos adequados. Também podem ser verificados desvios desses pontos característicos. Também para determinadas falhas dos tipos de falhas podem ser verificados pontos característicos nos dados multidimensionais. Especialmente, com base nos dados multidimensionais, que na forma de realização preferida, constitui uma paisagem no espaço de frequência - tempo - amplitude,

pode ser verificada com alto grau de confiabilidade, a qualidade de uma usinagem mecânica de uma peça de trabalho, especialmente ainda durante a usinagem, em tempo real, e isto de maneira universal, em um grande número de processos de usinagem como, por exemplo, remoção de aparas, soldadura, deformação, junção, corte e/ou semelhantes procedimentos. Também poderá ser verificado e identificado o grau do desgaste da ferramenta ou uma falha da ferramenta como, por exemplo, uma ruptura de uma broca, baseado nos pontos característicos correspondentes. Finalmente, no teste de um componente de construção poderá ser verificado o desvio de pontos característicos esperados e a coincidência com características de falhas pode diagnosticar uma determinada falha ou tipo de falha. O teste do componente construído pode ser realizado na própria área de operação, onde o componente estiver sendo usado; por exemplo, na operação de um trem, no eixo ou na roda, poderá ser registrado um espectro de vibrações e especialmente um espectro de emissão sonora, sendo examinado quanto a pontos característicos, a fim de verificar, por exemplo, um desgaste, um grau de desgaste, uma falha como eventualmente uma ruptura ou uma fissura ou um comportamento normal ou, de maneira generalizada, um desvio do comportamento normal.

[0021] Preferencialmente, a avaliação será realizada de forma automática na base de um reconhecimento de amostra. Para o reconhecimento de amostra multidimensional, especialmente tridimensional, podem ser usados algoritmos adequados, os quais, de forma rápida e confiável e com parâmetros de reconhecimento reguláveis, computadorizados podem ser concretizados, e que recorrem aos dados do espectro vibratório, já memorizados, ou que processam os dados do espectro vibracional em tempo real.

[0022] Um banco de dados com amostras adequadas para um determinado uso estará convenientemente previsto. As amostras podem

estar memorizadas na forma de segmentos de paisagens de amostras, eventualmente com faixas de tolerância, sendo memorizadas e/ou definidas pelas funções. Isto possibilita, por um lado, o uso de amostras predeterminadas para determinado uso ou classe de uso, por exemplo, amostra para determinado passo de usinagem de perfuração. Além disso, durante uma fase de aprendizado, podem ser coletados dados, sendo memorizados como amostras e eventualmente como valores de tolerância. Assim, por exemplo, na perfuração e troca de peça de trabalho, e troca de ferramenta, poderá ser registrado o espectro da emissão sonora, do qual podem ser extraídas amostras, em cuja base pode ser realizada a avaliação de usinagens subsequentes. Com isto, é automaticamente possível uma adequação das amostras, por exemplo, em um determinado processo ou determinada máquina de usinagem, ou um componente de construção determinado, ou uma situação de exame determinada para uma peça construída, o que é viável de uma forma simples e eventualmente automática, conforme já dito. No caso, as amostras podem encobrir regiões de valores, a fim de definirem desvios toleráveis e/ou simplificar a possibilidade do reconhecimento;

[0023] Para uma avaliação automática é preferencialmente previsto formar uma envolvente do espectro vibratório registrado ou de seus segmentos, fazendo uma comparação com uma envolvente de comparação. A envolvente será, no caso, formada, por exemplo, através de uma função de alisamento, através da mediação no espaço de pontos de dados adjacentes ou mediante utilização de processos convenientes para o alisamento de dados multidimensionais. A divergência entre a envolvente e a envolvente de comparação poderá ser usada como medida para uma avaliação de um elemento construído, de uma peça de trabalho, de uma ferramenta e/ou de um processo, por exemplo, a qualidade de um processo de remoção de aparas, para os quais pode

ser aproveitada. Além disso, o uso de uma envolvente permite identificar, de forma automática, segmentos de processo como, por exemplo, um contato com peça de trabalho, ou determinada usinagem. Além disso, o reconhecimento de amostra será simplificado pelo uso de uma envolvente, sendo aprimorada a taxa do reconhecimento.

[0024] De preferência, o espectro das vibrações será registrado e avaliado em um regime de alta frequência e/ou de banda larga.

[0025] A banda larga é conveniente porque pontos característicos podem surgir em regiões do espectro da emissão sonora que na frequência estão bem distanciados reciprocamente. Assim sendo, uma formação de fissura apresenta uma "impressão digital" de alta frequência, enquanto que uma ruptura de broca deixa características relativamente de baixa frequência no espectro da emissão sonora e uma falha de máquina como, por exemplo, um revolvimento falho de um torno deixa pontos característicos na faixa de baixa frequência do espectro vibratório. Preferencialmente, será registrado todo o espectro de frequência das vibrações, para o que pode ser previsto, eventualmente, os diferentes sensores que cobrem diferentes faixas de frequência. Na forma de realização preferida, será usado apenas um sensor, ou seja, um sensor sonoro, mas em outras formas de realização podem, todavia, também ser usados outros sensores de vibrações, em caráter adicional ou alternativo.

[0026] O registro em regime de alta frequência possibilita vantajosamente uma avaliação também de processos microscópicos, junto ou dentro do componente trabalhado ou peça de trabalho, ou ferramenta.

[0027] Assim, por exemplo, na remoção de aparas de um corpo sólido, partes de material são rompidas de sua posição, contra a sua força de adesão. A força para tanto necessária é aplicada por uma ferramenta. As forças de ligação existem entre componentes de tamanho microscópico. Por isso, a remoção de aparas pode também ser com-

preendida como uma sequência de separações microscópicas. Cada uma dessas pequenas separações envia um impulso através dos materiais adjacentes. Através desses impulsos, são formadas vibrações. As frequências das vibrações dependem da duração do impulso e da elasticidade do material. No caso, cada remoção de aparas consiste de uma sequência de um número grande de separações microscópicas, ou seja, também de uma sequência de muitos impulsos pequenos. Esses impulsos são formados com uma sequência temporal. Após uma separação microscópica concluída, forma-se novamente uma força de separação nas próximas partículas de materiais ainda unidas, no caminho para a ferramenta de remoção de aparas. Depois de vencida a necessária força da separação, surge o próximo impulso. Desta maneira, surgem sempre novas excitações vibracionais, cuja distribuição temporal está correlata com a velocidade do corte e o tamanho das partículas de material separadas. Daí resulta uma excitação vibratória de material e ferramenta, cuja frequência e traçado de amplitudes são característicos para o respectivo processo de remoção de aparas.

[0028] Por conseguinte, as separações microscópicas resultam em um espectro vibracional de remoção de aparas de alta frequência, a partir do qual podem ser obtidas características sobre o efetivo processo da remoção de aparas, no plano microscópico.

[0029] Em outros usos da invenção como, por exemplo, soldadura ou exame de componente construído também se apresenta pontos característicos de alta frequência na faixa vibratória. O espectro de vibrações registrado será preferencialmente submetido a uma análise de frequência - tempo. Pela análise de frequência - tempo, por um lado, vibrações registradas através do eixo temporal podem ser alocadas ao traçado do processo e, por outro lado, as vibrações interessantes de vibrações não interessantes como eventualmente vibrações da máqui-

na e vibrações de interferências podem ser separadas que afetam outras faixas de frequência. Portanto, a avaliação pode ser concentrada para a faixa característica para o respectivo uso.

[0030] Preferencialmente, o espectro das vibrações será registrado com uma resolução de frequência que corresponde à granulação microscópica do material que compõe a peça de trabalho ou da peça de trabalho e, eventualmente, corresponde a outros fatores dependentes do uso. Em um processo de remoção de aparas, por exemplo, a velocidade da usinagem de remoção de aparas deve ser considerada como outro fator. Assim, por exemplo, em uma velocidade de remoção de aparas de 3000 m/min torna-se necessária uma resolução de frequência de 50 MHz, a fim de registrar estruturas na ordem dimensional de 1 μ m por vibrações de remoção de aparas alocadas. Na dependência da granulação microscópica que pode estar situada acima ou abaixo da faixa de microns e da velocidade de remoção de aparas propriamente dita, resultam resoluções de frequência mais altas ou mais baixas. De acordo com a invenção, a resolução da frequência estará situada preferencialmente ao redor de 50 MHz, a fim de cobrir todos os usos, mas poderá também estar situada na faixa de 40 MHz, 30 MHz, 20 MHz ou 20 MHz.

[0031] O espectro das vibrações poderá ser registrado com a coordenada frequência f , tempo t , e amplitude A . Este registro se adapta para uma análise numérica no computador, sendo que as coordenadas também podem ser funções $a(f)$, $b(t)$ e/ou $c(A)$ da frequência f , do tempo t , ou seja, da amplitude A , ou $a(f, t, A)$, $b(f, t, A)$ e/ou $c(f, t, A)$, de maneira que uma expansão tridimensional é memorizada em uma dependência funcional dada, em uma relação f, t, A , por exemplo, (lf, MT, nA^x) , sendo l, m, n, x números aleatórios. Para a ilustração e/ou análise prática, o espectro das vibrações pode ser graficamente representado com as três coordenadas. Neste caso, poderá ser selecionada

uma representação tridimensional, na qual a frequência e o tempo abrangem um plano e pela amplitude, (onde uma função desta) é definido um perfil de altura. Uma representação gráfica desta natureza facilita o reconhecimento das vibrações relevantes para a avaliação, por exemplo, estas podem ser alocadas, pela separação, no eixo temporal, a sequência da usinagem, sendo separadas das vibrações da máquina de outras vibrações de interferência no eixo da frequência.

[0032] Para o registro das vibrações será usado preferencialmente um sensor sonoro, especialmente um sensor sonoro piezo. Esses sensores sonoros podem processar as frequências elevadas necessárias, de acordo com a invenção, apresentam uma grande largura de banda de frequência, podendo ser produzidos a custo vantajoso e sendo isentos de manutenção.

[0033] O sensor, especialmente o sensor sonoro que pode estar disposto no componente construído, na peça de trabalho ou na ferramenta, ou pode estar previsto em um componente de construção acoplado vibracionalmente com o componente construído, peça de trabalho e/ou ferramenta, após a sua montagem e preferencialmente também depois, em regime periódico, ou antes, de cada uso, será calibrado. Desta maneira será assegurada uma precisão suficientemente alta e uniforme da medição. Uma calibragem será especialmente conveniente quando o sensor for montado em uma nova peça de trabalho ou, para a finalidade de manutenção, será separado e precisa ser novamente aplicado, porque pela aplicação pode se apresentar outro comportamento de acoplamento. Para a calibragem, de acordo com a invenção, o sensor sonoro será sujeito com um impulso elétrico determinado, a fim de emitir um sinal sonoro. Em seguida será registrado o eco do sinal sonoro, sendo comparado com eco teórico. Desta maneira, poderá ser determinada a qualidade do acoplamento do sensor sonoro na peça, ou na ferramenta, ou na peça construída, sendo levado

em conta no processo da medição propriamente dito.

[0034] Preferencialmente, a avaliação se realiza em tempo real. Desta maneira é eliminada a necessidade de memorizar dados. Uma memorização dos dados pode ser conveniente em componentes de construção relevantes na área de segurança para comprovar a isenção de falhas ou para comprovar uma falha. Os dados podem ser integralmente memorizados para todo o processo da usinagem ou para toda a duração do controle de uma peça de trabalho, ou de um componente construído, ou apenas por segmentos, em faixas temporais, nas quais foram reconhecidas características interessantes.

[0035] Outro aspecto da invenção se refere à transformação do espectro vibracional, ou de uma faixa de frequência interessante do mesmo, para o espectro sonoro audível através de uma função ou imagem adequada, por exemplo, linear. Isto possibilita uma observação, ou seja, avaliação acústica por uma pessoa. Convenientemente, a observação acústica será realizada em caráter complementar à avaliação multidimensional, mas pode também substituí-la.

[0036] Em uma modalidade especialmente conveniente para danos, são reconhecidas amostras típicas no espectro vibracional. Aqui pode resultar, entre outros fatores, uma simplificação da avaliação que se restringe ao reconhecimento de uma falha.

[0037] A invenção também possibilita reconhecer falhas que não estão em uma correlação direta de uma usinagem de uma peça de trabalho. Por exemplo, as fissuras de tensão ou danos gerais por influência estranha, produzidos por oscilações da temperatura, podem ser reconhecidas.

[0038] Além disso, podem ser reconhecidas fissuras de sobrecarga e/ou cansaço. Isto é especialmente vantajoso no exame de um componente construído ou na observação de um componente construído na operação, por exemplo, no controle de uma roda de um vagão

ferroviário.

[0039] Desta maneira, a presente invenção cria processos e dispositivos que possibilitam um controle, garantia de qualidade e exame de componentes, peças trabalhadas e processo de usinagem, de maneira automática.

[0040] Outras características e modalidades da invenção resultam da descrição subsequente com referência aos desenhos anexos.

Descrição das Figuras

[0041] Figura 1 ilustra esquematicamente um dispositivo para avaliar processos para a remoção de aparas,

[0042] figuras 2 e 3 apresentam cristaltos em uma estrutura de aço,

[0043] figura 4 ilustra uma representação gráfica tridimensional de um espectro vibracional,

[0044] figura 5 ilustra um recorte da figura 4, em representação bidimensional,

[0045] figura 6 é um corte pela figura 4, paralelo para com o eixo f,

[0046] figuras 7 e 8 apresentam uma projeção de toda a extensão da faixa de frequência registrada da figura 1, no eixo temporal, para diferentes ferramentas.

Descrição das Formas de Realização

[0047] A invenção será descrita em seguida, inicialmente com base no exemplo de execução de um processo de remoção de aparas.

[0048] O dispositivo 1, representado na figura 1, para a realização de uma análise vibracional, aqui para avaliar um processo de remoção de aparas, abrange um sensor 2 para a captação de vibrações, estando o sensor, por exemplo, integrado em uma ferramenta 3 de uma máquina - ferramenta 4 que pode usinar, com remoção de aparas, uma peça de trabalho 5. O sensor 2 está acoplado com um conjunto avaliador 6, por exemplo, um computador. Em outras modalidades da

invenção, a peça será trabalhada de outra forma, por exemplo, soldada, transformada, juntada e/ou seccionada, ou será testado um componente, ou será observado durante o seu uso em estado montado.

[0049] Preferencialmente, o sensor 2 é um sensor corpóreo sonoro, por exemplo, um sensor piezo e preferencialmente pode registrar, não apenas sinais sonoros corpóreos, mas também pode emití-los. A emissão de sinais sonoros corpóreos é conveniente, especialmente para o exame de componentes construídos, porque estes podem assim ser postos em vibração. Também podem ser empregados outros tipos de sensores, tão logo possam registrar vibrações na faixa de frequência interessante, por exemplo, sensores de movimentação.

[0050] O sensor 2 está acoplado ou, conforme representado a guisa de exemplo na ferramenta 3, ou na máquina - ferramenta 4, ou na própria peça de trabalho 5, ou em componente com esta acoplada vibracionalmente, de tal sorte que pode registrar vibrações da peça de trabalho 5 e/ou da ferramenta 3. No caso mais simples, o sensor estará atarraxado firmemente.

[0051] A máquina - ferramenta 4, por exemplo, uma fresadora realiza um processo de usinagem da ferramenta 5, por exemplo, um bloco de aço com a ferramenta 3, por exemplo, uma fresadora, especialmente de modo automático, para produzir do bloco de aço, por exemplo, uma roda dentada.

[0052] Durante o processo da usinagem surgem vibrações na peça de trabalho 5 e na ferramenta 3 que são acolhidas, ou seja, registradas pelo sensor 2. Para tanto, o sensor 2 está conformado de tal modo que pode registrar frequências entre um valor de umbral inferior e um valor de umbral superior. De maneira ideal, o valor de umbral inferior a 0 e o valor de umbral superior a ∞ , é de tal ordem que todo o espectro interessante pode ser registrado. Será conveniente na prática um valor de umbral superior mínimo de 50 MHz, preferencialmente no

mínimo 100 MHz. Na prática, frequências abaixo de 90 kHz ou 40 kHz são preferencialmente amortecidas ou cortadas por não conterem informações de valor, de maneira que é conveniente um valor de umbral inferior correspondente, mas também pode se situar ao redor de 200 kHz, 500 kHz ou 1 MHz.

[0053] A efetiva faixa de frequência do sensor 2 deverá ser escolhida com base no material a ser trabalhado e da velocidade da usinagem. As figuras 2, 3 mostram cristalitos típicos em uma estrutura de aço. Como pode ser visto, os tamanhos dos grãos variam de acordo com o processo do resfriamento e dos componentes de liga. Se a granulação do material for, por exemplo, de 1 μm e a velocidade da usinagem de 3000 m/min, o valor de umbral superior deve ser no mínimo de 50 MHz para poder registrar as velocidades de remoção de aparas que interessam. Com uma velocidade de usinagem de 400 m/min e um tamanho de grãos médios de 1 μm resulta uma resolução mínima de 6,66 MHz. Como, todavia, a ponta da ferramenta (por exemplo, 1 mm), em comparação com os cristalitos (por exemplo, 1 μm) é muito grande, ela capta sempre muitos cristalitos ao mesmo tempo (por exemplo, 1000) e ligeiramente defasados em fragmentos do tamanho dos grãos; uma resolução de frequência essencialmente maior do que a resolução mínima será, portanto, conveniente para registrar todas as informações de frequência interessantes sobre o processo da remoção de aparas.

[0054] As vibrações captadas pelo sensor 2 durante a usinagem com remoção de aparas da peça de trabalho 5, são avaliadas em regime multidimensional. Para tanto, o espectro vibracional registrado pode ser memorizado em caráter intermediário na unidade avaliadora 6, que preferencialmente são computadores com interface correspondente e meio de memorização adequados.

[0055] Na unidade avaliadora 6, uma análise de frequência - tem-

po pode ter sequência de tal maneira que o espectro vibracional será graficamente representado ainda durante o registro ou após e/ou será numericamente analisado.

[0056] Conforme ilustrado na figura 4, uma representação pode se verificar de forma tridimensional com as coordenadas de tempo, frequência e amplitude (ou amplitude máxima, ou intensidade, ou semelhantes fatores) ou, conforme ilustrado na figura 5, de forma bidimensional, sendo que linhas elevadas tornam visível a amplitude. Na figura 5, ao lado esquerdo, com frequências reduzidas, pode ser visto o eixo propulsor e no caso do lado direito, encontram-se interferências de alta frequência e entre estas pode ser visto o atrito subsequente de dois dentes de uma árvore de câmbio de veículo automotor. Um corte representado com o tempo t é representado na figura 6 que mostra um espectro de frequência típico.

[0057] Podem ser reconhecidas amostras, especialmente as ilhas na figura 5, que são características para o respectivo processo. Estas amostras também resultam para falhas. Pelo reconhecimento das amostras podem ser reconhecidos, por conseguinte, passos do processo, podem ser avaliados, sendo determinada, por exemplo, uma medida para a divergência de uma amostra, e também podem ser reconhecidas e identificadas falhas (ruptura de broca, ausência de ferramenta, etc.), sendo reconhecidos sempre desvios no comportamento padrão, ainda durante uma usinagem.

[0058] A avaliação pode ser feita com base nas figuras 4, 5 ou 6, sendo comparadas com dados comparativos ou dados de experiência e podem ser derivados das características atinentes ao processo de remoção de aparas, propriamente dito. Para tanto, podem ser usadas amostras oriundas de um banco de dados de amostras. As amostras podem ser segmentos superficiais, memorizadas ou funcionalmente descritas, e características em um banco de dados de amostras, cuja

presença pode ser verificada no espectro vibracional registrado.

[0059] As figuras 7 e 8 apresentam uma projeção de toda a extensão da frequência registrada da figura 1 no eixo temporal, de maneira que surge uma imagem bidimensional. Trata-se do registro de dois processos de torno, imediatamente subsequentes, em um componente de aço. A figura 7 mostra a emissão no uso de uma ferramenta gasta, ao passo que a figura 8 mostra a emissão, após a montagem de uma nova ferramenta. Como pode ser visto a figura 8 é mais lisa e poderia ser usada como referência para o processo de torno determinado, sendo que diferenças correlatas podem ser usadas para a avaliação da ferramenta e/ou da peça de trabalho. No caso, em uma avaliação automática dos conjuntos de dados tridimensionais registrados, podem ser aplicadas correspondentes envolventes de referência, abrangendo toda a paisagem registrada. Como escala para a qualidade da usinagem da ferramenta, podem ser usados diferentes valores médios de fusões, etc.

[0060] No caso, o espectro vibracional não depende somente da ferramenta e da peça de trabalho, mas também da velocidade da usinagem, da máquina - ferramenta, do material usado, (por exemplo, óleo de refrigeração) e assim por diante. Desta maneira, o espectro vibracional pode oferecer informações também sobre a própria máquina - ferramenta ou sobre o material de consumo, e assim por diante. Assim, o espectro das vibrações possivelmente é modulado para as vibrações da máquina - ferramenta, por exemplo, 200 Hz.

[0061] O sensor 2 apresentará uma passagem de frequência não linear que depende do sistema global representado pela máquina - ferramenta, ferramenta, peça de trabalho. A passagem da frequência é individual para cada sensor e, além disso, também depende do torque de sua fixação, ressonâncias sistêmicas, ruídos mecânicos, etc. Uma calibragem, especialmente periódica durante as medições é, portanto,

conveniente. A calibragem pode ser feita por emitir ao sensor 2 um impulso, sendo avaliada a resposta ao impulso.

[0062] O reconhecimento da figura na sujeição de componentes de construção como eventualmente rodas, é viabilizado com alto grau de viabilidade pela observação em tempo real em banda larga de sinais sonoros corpóreos.

[0063] Uma observação de detecção de frequência viabiliza uma filtração precisa de ruídos de trabalho normais, em separação, e de danos em componentes espontaneamente incidentes em virtude de fissuras de sobrecarga ou de cansaço na estrutura.

[0064] Cada separação estrutural emite uma emissão sonora corpórea semelhante a um impulso que pode ser separada dos ruídos processuais normais.

[0065] Uma observação em tempo real, de preferência de todo o traçado da frequência pelo tempo, possibilita reconhecer alterações no traçado do processo e atuar sobre estas oscilações, de maneira que, de modo preventivo, podem ser evitados danos incidentes.

[0066] Nas instalações para a produção controlada de danos como, por exemplo, bancadas de teste, poderá ser observado o progresso de um traçado de danos convencional. Desta forma, torna-se possível avaliar o tamanho de danos em fase posterior, porém o traçado temporal da formação do dano propriamente dito, bem como também a ocorrência quantitativa no desenvolvimento do dano.

[0067] Pela comparação do espectro vibracional com amostras de danos memorizados e amostras padrão torna-se possível reagir a danos flexíveis de um componente construído ou em divergência de processo, também quando faixas de frequência se deslocarem ou modificarem, ou quando são registrados sinais novos, até então, não conhecidos.

[0068] No caso de uma separação de frequência previamente fi-

xada ou filtração de frequência, tal reação e reconhecimento flexível não são possíveis.

[0069] A invenção também pode ser empregada em processos de soldadura, especialmente solda a laser.

[0070] Na usinagem de material com laser, os materiais serão aquecidos e com isto são alteradas as tensões na estrutura. Cada alteração de tensão desta natureza gera uma onda de pressão que se expande pelo material. Estas oscilações de pressão, em consequência da deformação térmica pela energia do laser, podem ser registradas por um sensor sonoro corpóreo, sendo avaliados de acordo com a invenção.

[0071] Para tanto serão empregados sistemas ópticos para o controle de um processo laser que medem a luz refletida pelo ponto de atuação e procuram derivar do espectro, ou seja, da intensidade, como o efetivo processo do laser é acolhido pelo material. Resultados satisfatórios nem sempre podem ser logrados neste procedimento, porque vários materiais devem ser interligados e o processo da solda transfixante, ou seja, se a energia do laser também produz a fusão necessária e transfixação térmica de todos os componentes construídos, não pode ser testado por emissão de laser refletida na superfície.

[0072] Por meio de sensores sonoros corpóreos nos componentes construídos ou nas peças trabalhadas poderá ser registrado, de acordo com a invenção, se surgem oscilações de tensão nos componentes construídos, em consequência de aquecimento térmico e as oscilações de tensão podem ser analisadas para a avaliação do processo de soldadura propriamente dito.

[0073] A integração de energia pela luz do laser gera oscilações de temperatura na estrutura e, portanto, tensões correlatas de pressão de natureza variável, ondas de pressão e frequências que permitem fazer conclusões sobre o tipo das alterações térmicas na estrutura.

Assim sendo, torna-se possível ilustrar a energia da solda e/ou a energia acolhida pelo material. Especialmente, podem ser reconhecidas falhas na soldadura, como a ausência da soldadura transfixante de vários componentes de construção a serem unidos à formação de orifícios, em virtude de transferência de energia demasiado intensa, ou a ausência do raio laser, pela avaliação multidimensional, de acordo com a invenção, do espectro vibracional.

[0074] O sensor de vibrações ou especialmente o sensor sonoro, eventualmente vários sensores sonoros, no caso, podem ser acoplados, em sentido vibracional, por meio de um dispositivo, junto nas peças trabalhadas. Um ou vários sensores também podem estar colocados em dispositivos retentores que na protensão dos componentes construídos ou das peças trabalhadas, estabelecem um contato acoplado a oscilações com os componentes construídos ou peças trabalhadas.

[0075] De acordo com a invenção, é viabilizado o controle durante o processamento de uma usinagem, especialmente de um processo de solda a laser, na qual não serão necessárias outras medidas para a observação ou avaliação da qualidade.

[0076] A invenção também se adapta para a observação de um processo de deformação.

[0077] A cada processo de deformação de corpos sólidos serão introduzidas ou fracionadas tensões no componente construído. Estas alterações energéticas resultam em ondas de pressão que se expandem através do componente construído, ou seja, através da ferramenta.

[0078] As frequências dessas ondas de pressão dependem da dinâmica do processo da deformação, da velocidade da força e também da forma da estrutura do material.

[0079] De uma maneira geral, podem surgir frequências muito ele-

vadas. A análise da emoção sonora, em frequência e tempo, possibilita uma descrição precisa do processo da deformação e forma quase uma "impressão digital" de cada processo de deformação concreto. No caso, tornam-se possíveis variações por propriedades variáveis do material e sequências do processo.

[0080] O processo de acordo com a invenção poderá ser empregado tanto na deformação a frio como também na deformação a frio ou quente. Falhas como eventualmente ferramentas de deformação danificadas, quebradas, ou ausentes podem ser reconhecidas. Também podem ser reconhecidas resistências variáveis do componente construído na deformação, ausência, ou propriedades alteradas de meios operacionais como meios de deslizamento / lubrificação, na deformação a quente, especialmente variações na temperatura. Diferenças de temperatura reduzidas de 1° C já podem resultar em consideráveis modificações das forças de deformação e, portanto, em propriedades modificadas na dinâmica transformadora e nas emissões das ondas de pressão.

[0081] Caso se verifique um resfriamento do componente construído dentro do processo da deformação e durante o registro vibracional, também poderá ser observado e avaliado o próprio processo da distensão, ou seja, de resfriamento e de contração e o processo da deformação estrutural do material, bem como poderá ser feita uma indicação sobre o processo de resfriamento propriamente dito.

[0082] Isto se aplica tanto para as vibrações, especialmente emissões sonoras corpóreas, oriundas da própria transformação estrutural, como também emissões por forças existentes entre o componente de construção e a ferramenta, que se verificam durante a operação de volume.

[0083] Como pode ser visto a invenção de uma maneira bem generalizada a observação e a avaliação, especialmente automática de

quase todos os processos de usinagem, baseado nos espectros vibracionais que se apresentam durante a usinagem, inclusive na eventual fase de resfriamento ou semelhante processo, os quais, conforme descrito, apresentam pontos característicos para o comportamento normal e seus desvios correlatos. Além das usinagens descritas a guisa de exemplo acima, com remoção de aparas, baseados em soldadura e em transformação, a invenção também pode ser empregado na junção e corte.

[0084] A cada processo de junção ou corte, diferentes componentes passam a interagir. Durante a movimentação, as superfícies se flexionam reciprocamente, partes de material serão raspadas e removidas, forças de qualquer forma são integradas. Cada uma dessas atividades gera ondas de pressão que atravessam os componentes de construção participantes e que são característicos para o respectivo processo de junção ou de corte, podendo ser tipificados.

[0085] Torna-se, portanto, possível quantificar os processos de junção e de corte em diferentes propriedades, fazendo a sua qualificação, ou seja, definir e reconhecer os pontos característicos.

[0086] Por exemplo, na prensagem de uma árvore dentro de uma bucha, ambos produzidos com tolerâncias, as ondas de pressão da emissão sonora constituem uma medida para as forças da introdução forçada. No caso de medida excessiva, demasiado grande ou conformação de tolerância desfavorável, será produzido um sinal sonoro muito intenso que pode dar o indício sobre uma falha existente no processo da prensagem. Com a avaliação multidimensional, de acordo com a invenção, do espectro vibracional registrado, esta falha pode ser reconhecida, por exemplo, através de uma comparação, com amostras teóricas. Da mesma maneira, podem ser reconhecidas propriedades de superfície variáveis como eventualmente asperezas de superfície, demasiado grandes, ou alterações de material, porque es-

tas propriedades características apresentam um espectro vibracional.

[0087] Um atarraxamento essencialmente não representa nada diferente. Também neste processo, faces são impulsionadas e prensadas umas contra as outras e o torque aplicado gera, juntamente com as propriedades de fricção, emissões sonoras tipificáveis, as quais novamente podem ser usadas para a qualificação do atarraxamento.

[0088] O acima descrito também pode ser aplicado em processos de corte como eventualmente a remoção de hastes, de buchas, extração forçada, desatarraxamento, cortes, etc.

[0089] No caso, o processo da usinagem será, de uma maneira geral, somente concluído quando não mais se apresentarem alterações no componente construído ou na peça de trabalho. Assim, por exemplo, na deformação ou junção, ou soldadura e assim por diante, o espectro vibracional poderá ser analisado por um espaço de tempo mais longo, a fim de poder verificar, por exemplo, tensões incidentes nas alterações de temperatura que eventualmente resultam em danos dos componentes construídos, também após o encerramento indireto da influência sobre o componente construído ou sobre a peça de trabalho.

REIVINDICAÇÕES

1. Processo para a análise de vibrações, no qual as vibrações decorrentes da usinagem durante o processamento de uma peça de trabalho (5) são registradas e avaliadas, sendo que um espectro vibracional é registrado em diferentes tempos ou de forma (quase) contínua, sendo submetida a uma avaliação multidimensional, **caracterizado pelo fato de que** o espectro vibracional é registrado com uma resolução de frequência correspondente à granulação microscópica do material da peça de trabalho (5) usinada e da velocidade da usinagem.

2. Processo de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado pelo fato de que** a avaliação é feita em regime tridimensional.

3. Processo de acordo com a reivindicação 1 ou 2, **caracterizado pelo fato de que** a avaliação é realizada de forma automática na base de um reconhecimento de amostra.

4. Processo de acordo com a reivindicação 3, **caracterizado pelo fato de que** o reconhecimento da amostra procura amostras registradas em um espectro vibracional, captado dentro de um espaço de tempo que estão memorizadas ou definidas em um banco de dados de amostras.

5. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 4, **caracterizado pelo fato de que** é formada uma envolvente do espectro vibracional, e é comparada com uma envolvente de comparação.

6. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 5, **caracterizado pelo fato de que** o espectro vibracional é registrado e/ou avaliado em alta frequência e/ou em banda larga, e/ou o espectro vibracional é submetido a uma análise de frequência - tempo.

7. Processo de acordo com qualquer uma das reivindica-

ções de 1 a 6, **caracterizado pelo fato de que** o espectro das vibrações graficamente representado com as variáveis de frequência, tempo, amplitude ou uma função correlata.

8. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 7, **caracterizado pelo fato de que** um sensor sonoro (2) é usado para registrar o espectro vibracional.

9. Processo de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado pelo fato de que** o sensor sonoro (2) é calibrado por meio da emissão de um sinal sonoro através do sensor sonoro (2) antes da medição, captação do eco e comparação do mesmo com um eco teórico.

10. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 9, **caracterizado pelo fato de que** a avaliação é realizada substancialmente em tempo real.

11. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 10, **caracterizado pelo fato de que** o espectro vibracional registrado é transformado na faixa audível para uma avaliação acústica, por um operador.

12. Processo de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1 a 11, **caracterizado pelo fato de que** amostras típicas de danos, como fissuras de sobrecarga e/ou de cansaço, são reconhecidas no espectro vibracional.

13. Dispositivo (1) para a realização de uma análise de vibrações por um processo como definido em qualquer uma das reivindicações de 1 a 12, sendo que o dispositivo pode ser acoplado com um sensor (2) para registrar um espectro vibracional que é produzido durante o processamento de uma peça de trabalho (5) por meio de usinagem, e uma unidade avaliadora (6) para a avaliação multidimensional do espectro vibracional registrado em diferentes espaços de tempo ou de forma (quase) contínua, **caracterizado pelo fato de que**

a unidade de avaliação é projetada para análise do espectro vibracional com uma resolução de frequência correspondente à granulação microscópica do material da peça de trabalho (5) usinada e da velocidade da usinagem.

14. Dispositivo de acordo com a reivindicação 13, **caracterizado pelo fato de que** um sensor de alta frequência está previsto para registrar um espectro sonoro corpóreo.

15. Dispositivo de acordo com a reivindicação 13 ou 14, **caracterizado pelo fato de que** um banco de dados de amostra está previsto com amostras vibracionais multidimensionais.

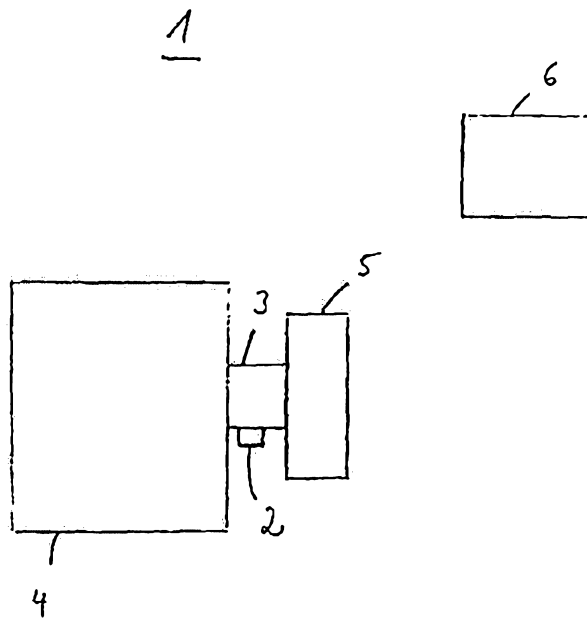


Fig. 1

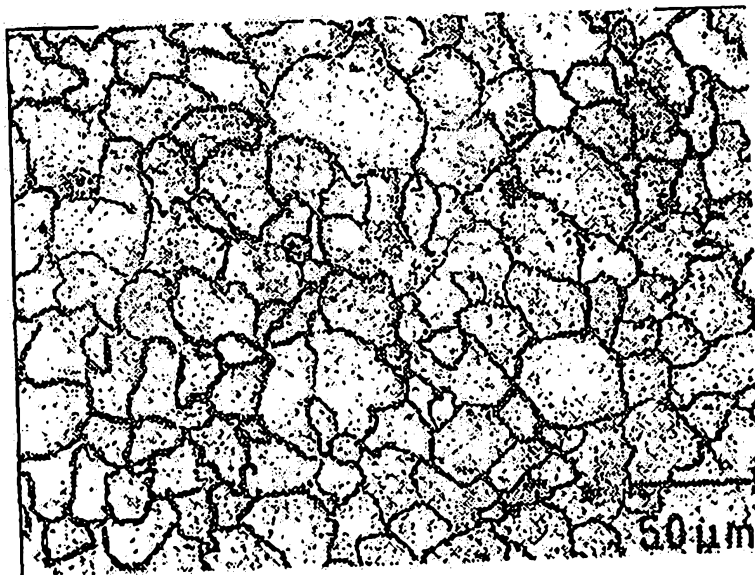


Fig. 2

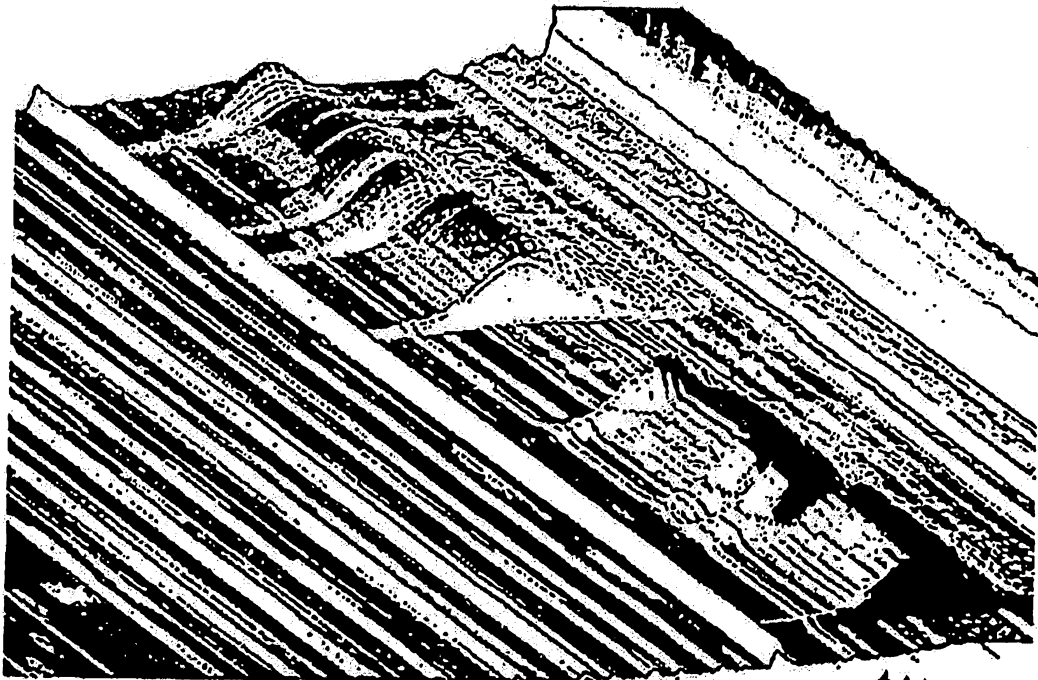


Fig. 4

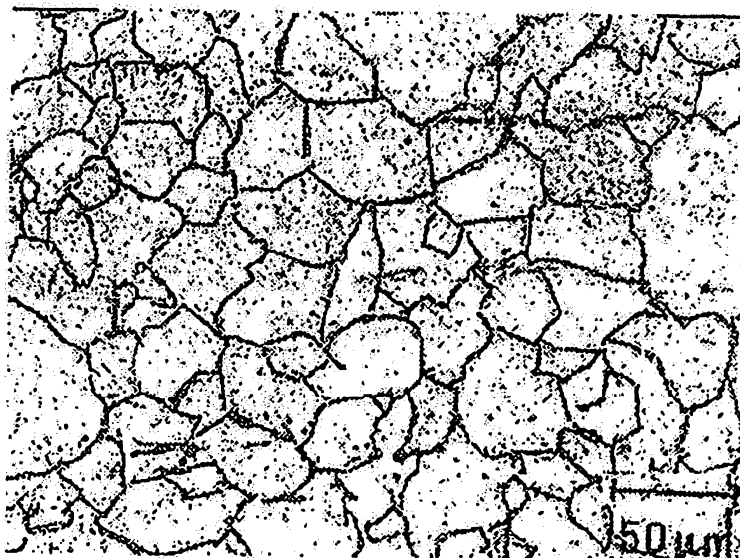
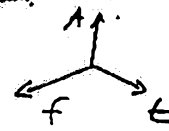


Fig. 3

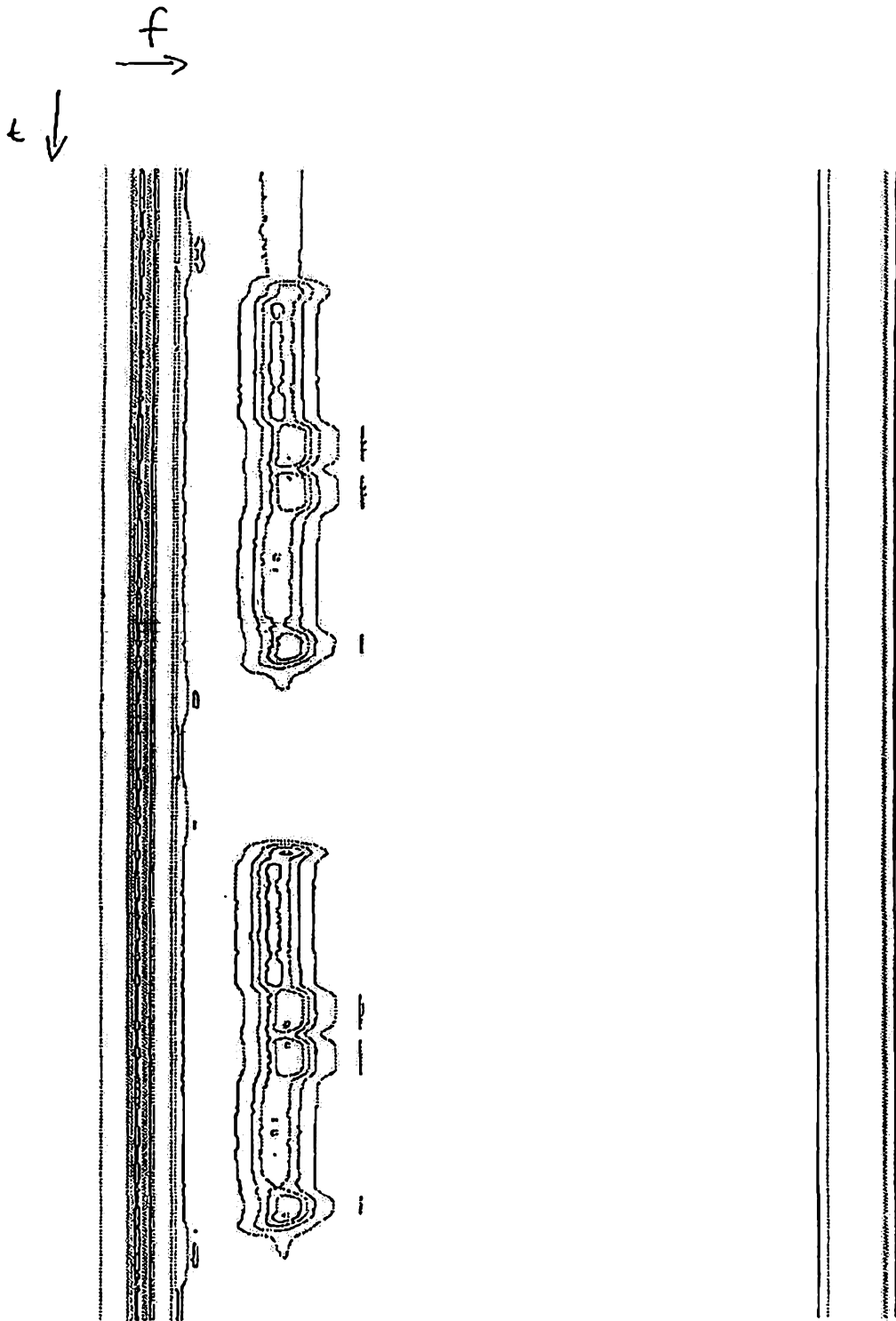


Fig. 5

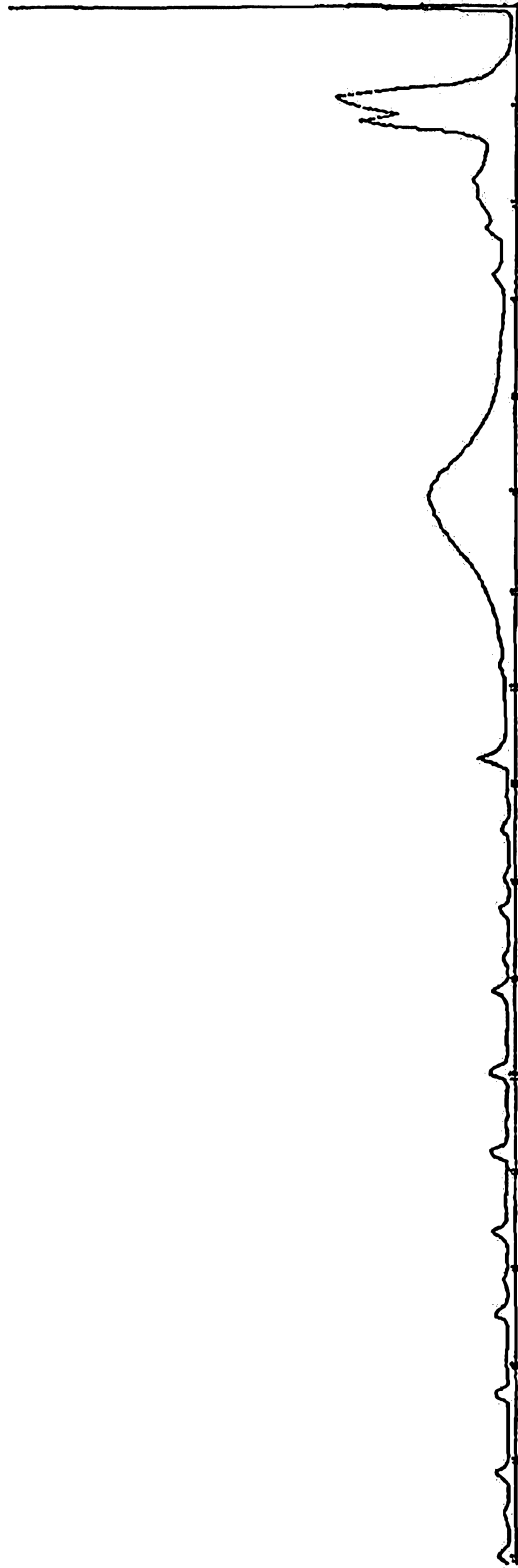


Fig. 6

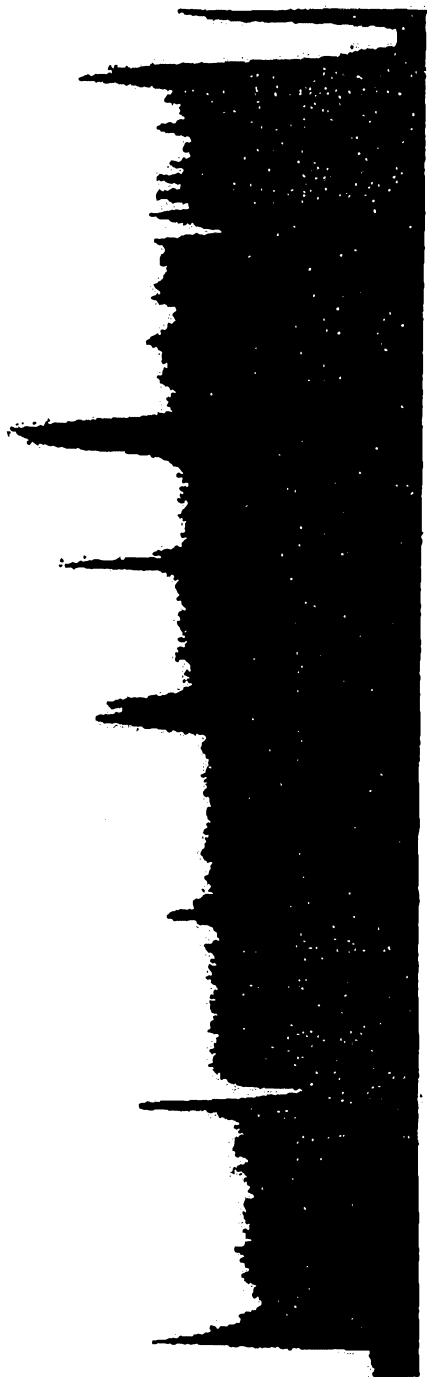


Fig. 7



Fig. 8