



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

(11) PI 0923582-5 B1



(22) Data do Depósito: 24/06/2009

(45) Data de Concessão: 19/05/2020

(54) Título: MÉTODO, DISPOSITIVO, PROGRAMA E MEIO DE REGISTRO DE ANÁLISE DA CAUSA DE RECUPERAÇÃO ELÁSTICA.

(51) Int.Cl.: B21D 22/00; G06F 17/50.

(30) Prioridade Unionista: 25/12/2008 JP 2008-329099.

(73) Titular(es): NIPPON STEEL CORPORATION.

(72) Inventor(es): TAKASHI MIYAGI; YASU HARU TANAKA; MISAO OGAWA.

(86) Pedido PCT: PCT JP2009061474 de 24/06/2009

(87) Publicação PCT: WO 2010/073756 de 01/07/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 22/06/2011

(57) Resumo: MÉTODO, DISPOSITIVO, PROGRAMA E MEIO DE REGISTRO DE ANÁLISE DA CAUSA DE RECUPERAÇÃO ELÁSTICA A presente invenção refere-se a um método de análise de uma causa de recuperação elástica que inclui: executar uma análise de formação para calcular o dado de formação de um produto formado; decompor um componente em um componente de tensão no plano e um componente de momento de flexão; gerar um dado de formação de decomposição individual antes do cálculo; executar um cálculo para gerar um dado de formação de decomposição individual depois do cálculo; analisar uma primeira configuração de recuperação elástica e uma segunda configuração de recuperação elástica; obter um grau de influência de uma tensão em cada uma das áreas em relação à deformação de efeito de mola e exibir o grau de influência em relação à deformação de efeito de mola.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para
**"MÉTODO E DISPOSITIVO PARA ANÁLISE DE UMA CAUSA DE
RECUPERAÇÃO ELÁSTICA EM UM PRODUTO FORMADO"**.

Campo Técnico

[001] A presente invenção refere-se a um método, um dispositivo, um programa e um meio de registro de análise de uma causa de recuperação elástica em um produto formado que é formado por prensagem a partir de uma placa de aço ou outras placas de metal em partes de automóveis ou utensílios domésticos. Embora a invenção seja descrita com referência a uma placa de aço, a invenção também pode ser aplicada a outras placas de metal, placas de plástico e materiais lineares.

[002] A prioridade é reivindicada sobre o pedido de patente japonês nº. 2008-329099, depositado em 25 de dezembro de 2008, cujo conteúdo está aqui incorporado a título de referência.

Técnica Anterior

[003] Muitas partes de automóveis, tais como, portas e para-choques, ou utensílios domésticos, tais como painéis de refrigerador, são formados por prensagem a partir de uma placa de aço ou outras placas de metal. Há uma demanda crescente por produtos formados por prensagem com peso leve. Portanto, as placas de aço de alta resistência são usadas para fornecer produtos leves e delgados. As placas de aço de alta resistência, no entanto, têm maior resistência à deformação, a qual pode aumentar a probabilidade da ocorrência da recuperação elástica causado pela tensão residual durante o processo de formação por prensagem.

[004] Existe uma tendência recente na qual um processo de formação planejado para a formação de produtos é iniciado ao mesmo tempo em que um estágio de projeto de automóveis, ou similares, a fim de reduzir as horas de trabalho de desenvolvimento e custos de

fabricação. A fim de se seguir a tendência, uma configuração de um produto formado por prensagem e seu dado de formação são analisados por um computador. A análise fornece o cálculo de uma quantidade de recuperação elástica do produto formado por prensagem estimada a partir da tensão residual após a formação. A configuração de matriz é corrigida de acordo com a quantidade de recuperação elástica calculada.

[005] O documento de patente 1 e o documento de não patente 1 apresentam um método de determinação de uma configuração de matriz mediante a estimativa da recuperação elástica conforme descrito acima. Em particular, a tensão residual em uma placa de aço prensada em uma matriz no centro morto do fundo da prensa é analisada por um método de elemento finito, e uma matriz que tem uma configuração de deformação (isto é, lançamento para frente) causada por uma tensão residual em direção à direção oposta à tensão residual mencionada anteriormente é numericamente analisada. Desta maneira, uma configuração de matriz que se dirige ao problema da recuperação elástica pode ser facilmente obtida.

[006] No entanto, é muito difícil projetar uma matriz através da análise numérica levando em consideração o problema da recuperação elástica de uma maneira completa, devido ao fato de que isto consiste em um problema não linear. Os métodos nos documentos anteriores são propostos somente para se obter uma simples matriz que é projetada levando em consideração a recuperação elástica por meio do método de elemento finito. Os documentos sugerem, portanto, nenhuma contramedida contra um produto obtido por meio da formação por prensagem em uma matriz que está fora da tolerância para a recuperação elástica, o qual consiste em um fenômeno que é difícil de analisar numericamente.

[007] Se um produto formado que satisfaz o valor de tolerância

para a recuperação elástica não puder ser obtido com o uso de uma matriz projetada considerando o problema de recuperação elástica, contramedidas a serem realizadas precisam ser determinadas pelo pessoal técnico experiente. Consequentemente, há uma necessidade em produzir uma matriz real e modificar de maneira repetida a configuração de matriz no momento da prensagem das placas de aço na matriz.

[008] Outra abordagem para reduzir a recuperação elástica consiste em modificar as configurações das placas de aço ou produtos formados, não a configuração da matriz, para remover a tensão residual. Um método de modificação exemplificador consiste em fornecer uma abertura ou uma fenda no produto formado em uma área onde a recuperação elástica está ocorrendo.

[009] Esta abordagem pode reduzir a tensão residual que pode de outra forma causar ou cause recuperação elástica mediante a realização de uma contramedida contra as áreas onde a recuperação elástica está ocorrendo. No entanto, uma vez que o corte ou perfuração pode diminuir a rigidez do próprio produto, somente a leve tensão residual tende a causar grande recuperação elástica. Por esta razão, esta abordagem deixa de eliminar completamente o problema de recuperação elástica. Além disso, tal abordagem necessita de testes com uma matriz de teste real e uma placa de aço, o qual aumenta as horas de trabalho e os custos no estágio de projeto.

[0010] Os documentos de patente 2 a 5 também apresentam simulações pelo método de elemento finito. Os métodos apresentados nos documentos de patente 2 a 4 empregam a liberação de tensão parcial e modificação. No documento de patente 2, no entanto, a avaliação é feita somente em relação a uma quantidade de variações de ângulo, isto é, torção, antes e depois que a recuperação elástica ocorre em partes e, deste modo, os fatores que causam a deformação além da

torção estão fora da discussão. No documento de patente 2, todos os componentes de tensão em posições de liberação durante a liberação de tensão são ajustados para 0. Se a deformação for grande, a aproximação linear executada em relação aos gradientes de tensão produz inconsistência maior entre a aproximação linear e a transição não linear real.

Documentos da Técnica Relacionada

Documento de Patentes

[0011] Documento de patente 1: Pedido de patente japonês não examinado, Primeiro pedido nº. 2003-33828

[0012] Documento de patente 2: Pedido de patente japonês não examinado, Primeiro pedido nº. 2007-229724

[0013] Documento de patente 3: Pedido de patente japonês não examinado, Primeiro pedido nº. 2008-49389

[0014] Documento de patente 4: Pedido de patente japonês não examinado, Primeiro pedido nº. 2008-55476

[0015] Documento de patente 5: Pedido de patente japonês não examinado, Primeiro pedido nº. 2004-148381

Documentos de Não patente

[0016] Documento de não patente 1: revista técnica da Mitsubishi Motors Corporation (nº.18, 2006, páginas 126 a 131)

Descrição da Invenção

Problema para a Invenção Resolver

[0017] Conforme descrito acima, embora o processo de formação por prensagem e o produto formado por prensagem tenham sido analisados através da análise numérica, é difícil especificar com precisão a causa da recuperação elástica em um produto formado por prensagem no estágio de projeto, antes de conduzir os testes de formação real.

[0018] Portanto, um objetivo da invenção consiste em fornecer a

análise da causa da recuperação elástica com o qual uma área de um produto formado por prensagem, na qual a recuperação elástica ocorre, pode ser analisada de maneira mais precisa do que antes através da análise numérica e, deste modo, o tempo e o custo necessários para determinar um processo para a formação do produto podem ser reduzidos.

Meio para Resolver os Problemas

[0019] A invenção tem os seguintes aspectos a fim de resolver os problemas mencionados anteriormente.

(1) Um primeiro aspecto da invenção consiste em um método de análise de uma causa de recuperação elástica, o qual inclui: executar uma análise de formação através de uma simulação numérica com base em uma condição de formação de um produto plasticamente formado, a fim de calcular os dados de formação do produto formado; decompor, sobre todo o produto formado, os dados de tensão incluídos nos dados de formação do produto formado em um componente de tensão no plano e um componente de momento de flexão em relação a ao menos um componente direcional dentre os componentes direcionais da tensão; gerar, a partir dos dados de formação do produto formado, um dado de decomposição individual que inclui ao menos um dentre um primeiro dado de decomposição individual e um segundo dado de decomposição individual como um dado de decomposição individual antes do cálculo, o primeiro dado de decomposição individual que tem somente um componente de tensão no plano referente à tensão do componente direcional decomposto, o segundo dado de decomposição individual que tem somente um componente de momento de flexão referente a uma tensão do componente direcional decomposto; executar um cálculo para ao menos um componente direcional de tensão nos dados de formação de decomposição individual antes do cálculo referente a cada uma das

áreas divididas a partir do produto formado, a fim de gerar um dado de formação de decomposição individual depois do cálculo; analisar uma primeira configuração de recuperação elástica obtida através de uma simulação numérica em relação ao dado de formação de decomposição individual antes do cálculo e uma segunda configuração de recuperação elástica obtida através de uma simulação numérica em relação ao dado de formação de decomposição individual depois do cálculo; obter um grau de influência de uma tensão em cada uma das áreas em relação a uma deformação de efeito de mola, calculada com base em uma configuração antes do efeito de mola do produto formado incluída no dado de formação, a primeira configuração de recuperação elástica, e a segunda configuração de recuperação elástica; e exibir o grau de influência em relação à deformação de efeito de mola calculada para cada área.

(2) No método de (1), a execução da análise de formação pode ser executada através da simulação numérica por meio de um método de elemento finito com o uso de múltiplos elementos; uma tensão média em uma direção da espessura da placa de cada componente direcional para cada elemento no dado de formação do produto formado pode ser usada como o componente de tensão no plano do componente direcional; e um valor obtido mediante a subtração da média da tensão no plano a partir de cada um dos componentes direcionais do valor de tensão para todos os pontos de integração que surgem para cada elemento pode ser usado como o componente de momento de flexão do componente direcional.

(3) No método de (1), o cálculo pode ser executado mediante a multiplicação de ao menos um dos componentes direcionais de uma tensão do dado de formação de decomposição individual antes do cálculo por um coeficiente k em uma faixa de $-2 \leq k \leq 2$.

(4) No método de (3), a faixa do coeficiente k pode ser $0 < k \leq 1$.

(5) No método de (4), a faixa do coeficiente k pode ser $0,5 \leq k \leq 0,95$.

(6) No método de (1), o produto formado pode consistir em um produto formado por prensagem.

(7) Um segundo aspecto da invenção consiste em um dispositivo de análise de causa da recuperação elástica, o qual inclui: uma seção de análise de formação que executa uma análise de formação através de uma simulação numérica com base em uma condição de formação de um produto plasticamente formado, a fim de calcular o dado de formação do produto formado;

[0020] uma seção de decomposição que decompõe, sobre um todo do produto formado, os dados de tensão incluídos no dado de formação do produto formado em um componente de tensão no plano e um componente de momento de flexão em relação a ao menos um componente direcional dentre os componentes direcionais da tensão;

[0021] seção de geração de dado de formação de decomposição individual antes do cálculo que gera, a partir do dado de formação do produto formado, um dado de decomposição individual que inclui ao menos um dentre um primeiro dado de decomposição individual e um segundo dado de decomposição individual como um dado de decomposição individual antes do cálculo, o primeiro dado de decomposição individual que tem somente um componente de tensão no plano referente à tensão do componente direcional decomposto, o segundo dado de decomposição individual que tem somente um componente de momento de flexão referente a uma tensão do componente direcional decomposto;

[0022] uma seção de cálculo que executa um cálculo para ao menos um componente direcional de tensão no dado de formação de

decomposição individual antes do cálculo referente a cada uma das áreas divididas a partir do produto formado, a fim de gerar um dado de formação de decomposição individual depois do cálculo;

[0023] uma seção de análise de recuperação elástica que analisa uma primeira configuração de recuperação elástica obtida através de uma simulação numérica em relação ao dado de formação de decomposição individual antes do cálculo e uma segunda configuração de recuperação elástica obtida através de uma simulação numérica em relação ao dado de formação de decomposição individual depois do cálculo;

[0024] uma seção de obtenção de influência que obtém um grau de influência de uma tensão em cada uma das áreas em relação a uma deformação de efeito de mola, calculada com base em uma configuração antes do efeito de mola do produto formado incluída no dado de formação, a primeira configuração de recuperação elástica, e a segunda configuração de recuperação elástica; e

[0025] uma seção de exibição que exibe o grau de influência em relação à deformação de efeito de mola calculada para cada área.

(8) No dispositivo de (7), a seção de exibição pode exibir o grau de influência em relação à deformação de efeito de mola calculada para cada uma das áreas como uma exibição de contorno.

(9) Um terceiro aspecto da invenção consiste em um programa para analisar uma causa de recuperação elástica, o qual inclui:

[0026] executar uma análise de formação através de uma simulação numérica com base em uma condição de formação de um produto plasticamente formado, a fim de calcular o dado de formação do produto formado;

[0027] decompor, sobre um todo do produto formado, os dados de tensão incluídos no dado de formação do produto formado em um

componente de tensão no plano e um componente de momento de flexão em relação a ao menos um componente direcional dentre os componentes direcionais da tensão;

[0028] gerar, a partir do dado de formação do produto formado, um dado de decomposição individual que inclui ao menos um dentre um primeiro dado de decomposição individual e um segundo dado de decomposição individual como um dado de decomposição individual antes do cálculo, o primeiro dado de decomposição individual que tem somente um componente de tensão no plano referente à tensão do componente direcional decomposto, o segundo dado de decomposição individual que tem somente um componente de momento de flexão referente a uma tensão do componente direcional decomposto;

[0029] executar um cálculo para ao menos um componente direcional de tensão no dado de formação de decomposição individual antes do cálculo referente a cada uma das áreas divididas a partir do produto formado, a fim de gerar um dado de formação de decomposição individual depois do cálculo;

[0030] analisar uma primeira configuração de recuperação elástica obtida através de uma simulação numérica em relação ao dado de formação de decomposição individual antes do cálculo e uma segunda configuração de recuperação elástica obtida através de uma simulação numérica em relação ao dado de formação de decomposição individual depois do cálculo;

[0031] obter um grau de influência de uma tensão em cada uma das áreas em relação a uma deformação de efeito de mola, calculada com base em uma configuração antes do efeito de mola do produto formado incluída no dado de formação, a primeira configuração de recuperação elástica, e a segunda configuração de recuperação elástica; e

[0032] exibir o grau de influência em relação à deformação de efeito

de mola calculada para cada área.

(10) No programa de (9), a execução da análise pode ser executada através de simulação numérica por meio de um método de elemento finito com o uso de múltiplos elementos; uma tensão média em uma direção da espessura da placa de cada componente direcional para cada elemento no dado de formação do produto formado pode ser usada como um componente de tensão no plano do componente direcional; e um valor obtido mediante a subtração da média da tensão no plano a partir de cada um dos componentes direcionais do valor de tensão para todos os pontos de integração para cada elemento é usado como um componente de momento de flexão do componente direcional.

(11) Um quarto aspecto da invenção consiste em um meio de registro legível por computador no qual é registrado o programa para a análise da causa da recuperação elástica de acordo com (9).

(12) Um quinto aspecto da invenção consiste em um método de análise de uma causa de recuperação elástica, o qual inclui:

[0033] executar uma análise de formação através de uma simulação numérica com base em uma condição de formação de um produto plasticamente formado a fim de calcular o dado de formação do produto formado;

[0034] decompor, sobre um todo do produto formado, os dados de tensão incluídos no dado de formação do produto formado em um componente de tensão no plano e um componente de momento de flexão em relação a ao menos um componente direcional dentre os componentes direcionais da tensão;

[0035] gerar, a partir do dado de formação do produto formado, um dado de decomposição individual que inclui ao menos um dentre um primeiro dado de decomposição individual e um segundo dado de

decomposição individual como um dado de decomposição individual antes do cálculo, o primeiro dado de decomposição individual que tem somente um componente de tensão no plano referente à tensão do componente direcional decomposto, o segundo dado de decomposição individual que tem somente um componente de momento de flexão referente a uma tensão do componente direcional decomposto;

[0036] executar um cálculo para ao menos um componente direcional de tensão no dado de formação de decomposição individual antes do cálculo referente a cada uma das áreas divididas a partir do produto formado, a fim de gerar um dado de formação de decomposição individual depois do cálculo;

[0037] analisar uma configuração de recuperação elástica obtida através de uma simulação numérica em relação ao dado de formação de decomposição individual depois do cálculo;

[0038] obter um grau de influência de uma tensão em cada uma das áreas em relação a uma deformação de efeito de mola calculada com base em uma configuração antes do efeito de mola do produto formado incluída no dado de formação e na configuração de recuperação elástica; e

[0039] exibir o grau de influência em relação à deformação de efeito de mola calculada para cada área.

Efeitos da Invenção

[0040] De acordo com a presente invenção, a causa da recuperação elástica pode ser analisada de maneira precisa e o tempo necessário para determinar um processo de formação para um produto formado pode ser reduzido.

[0041] Adicionalmente, a presente invenção fornece uma análise de causa de recuperação elástica que não pode ser executada com os produtos reais. Contramedidas contra a recuperação elástica podem

ser tomadas mediante a decomposição do problema em pequenos componentes.

[0042] A presente invenção inclui a divisão de um produto formado por prensagem em áreas e a multiplicação, por um coeficiente k , ao menos um componente direcional de tensão no dado de formação de decomposição individual em uma área de interesse para cada uma das áreas. O coeficiente k se situa, de preferência, em uma faixa de $-2 \leq k \leq +2$ (que inclui 0). Se o coeficiente k for 0, o cálculo é simplificado e a influência de tensão para cada área em relação à deformação de efeito de mola pode ser claramente avaliada, com base em um grau de influência calculado. Se o coeficiente k consistir em um valor próximo a +1, o grau de influência pode ser calculado e avaliado com maior precisão. A precisão de avaliação é aperfeiçoada com o valor do coeficiente k próximo a 1, conforme comparado com o coeficiente k próximo a 0, devido ao fato de que uma relação entre a tensão e o deslocamento é praticamente não linear. Se a deformação for pequena, existe quase nenhuma diferença em gradientes de tensão antes e após a edição em relação ao deslocamento entre a simulação de aproximação linear e um processo não linear real. Neste caso, mesmo se o cálculo for executado com o coeficiente k ajustado para 0, o valor do grau de influência da tensão em relação à recuperação elástica para cada área pode ser suficientemente preciso para a análise e avaliação. Se a deformação for grande, ao contrário, a diferença nos gradientes de tensão antes e após a edição em relação ao deslocamento se torna grande entre a simulação de aproximação linear e um processo não linear real. Portanto, a aproximação linear pode incluir erros. Se o cálculo for executado de tal modo que um valor da tensão após a edição fique próximo a um valor da tensão antes da edição (isto é, se o coeficiente k for próximo a 1), o cálculo é executado com os gradientes de tensão antes e após a edição em

relação à deformação que estão próximos aos de um processo não linear real. A precisão na avaliação de valores do grau de influência da tensão em relação à recuperação elástica de cada área é, portanto, aperfeiçoada conforme comparado a um caso onde o coeficiente k é 0 (vide figura 10). É especialmente vantajoso ajustar o coeficiente k para que consista em um valor próximo a +1.

Breve Descrição dos Desenhos

[0043] A figura 1 ilustra uma configuração de um dispositivo que analisa uma causa de recuperação elástica de acordo com uma modalidade da presente invenção.

[0044] A figura 2 ilustra esquematicamente um método de análise da causa da recuperação elástica de acordo com uma modalidade da presente invenção.

[0045] A figura 3 ilustra uma configuração de hardware exemplificadora de um dispositivo que analisa uma causa de recuperação elástica.

[0046] A figura 4 é uma vista em perspectiva que ilustra uma configuração de um produto formado por prensagem no exemplo 1.

[0047] A figura 5 ilustra áreas divididas do produto formado por prensagem no exemplo 1.

[0048] A figura 6 ilustra um resultado da análise de recuperação elástica com base em dados originais adquiridos a partir da análise de formação por prensagem.

[0049] A figura 7A ilustra uma quantidade de recuperação elástica em cada área para a qual o cálculo é executado em relação aos dados de decomposição de componente de momento de flexão (isto é, tensão desviadora).

[0050] A figura 7B ilustra uma quantidade de recuperação elástica em cada área para a qual o cálculo é executado em relação aos dados de decomposição de componente de tensão no plano (isto é, tensão

média).

[0051] A figura 8A ilustra uma configuração de um produto formado por prensagem no exemplo 2.

[0052] A figura 8B ilustra áreas divididas e pontos fixos do produto formado por prensagem no exemplo 2.

[0053] A figura 9A ilustra uma configuração de um produto formado por prensagem no exemplo 3.

[0054] A figura 9B ilustra áreas divididas e pontos fixos do produto formado por prensagem no exemplo 3.

[0055] A figura 10 é um gráfico que ilustra a relação entre a tensão e o deslocamento.

[0056] A figura 11A ilustra a configuração de um produto formado por prensagem no exemplo 5.

[0057] A figura 11B ilustra áreas divididas e pontos fixos do produto formado por prensagem no exemplo 5.

[0058] A figura 11C ilustra um ângulo de torção em torno do eixo geométrico X em relação ao produto formado por prensagem no exemplo 5.

[0059] A figura 12A ilustra uma configuração de um produto formado por prensagem no exemplo 6.

[0060] A figura 12B ilustra áreas divididas e pontos fixos do produto formado por prensagem no exemplo 6.

[0061] A figura 13A ilustra a configuração de um produto formado por prensagem no exemplo 7.

[0062] A figura 13B ilustra áreas divididas e pontos fixos do produto formado por prensagem no exemplo 7.

[0063] A figura 14A ilustra uma configuração de um produto formado por prensagem no exemplo 8.

[0064] A figura 14B ilustra áreas divididas e pontos fixos do produto formado por prensagem no exemplo 8.

[0065] A figura 14C ilustra o deslocamento relativo (isto é, torção) de quatro nós em relação ao produto formado por prensagem no exemplo 5.

[0066] A figura 15A ilustra uma configuração de um produto formado por prensagem no exemplo 9.

[0067] A figura 15B ilustra áreas divididas e pontos fixos do produto formado por prensagem no exemplo 9.

[0068] A figura 16A ilustra um sistema de coordenada global do produto formado por prensagem no exemplo 9.

[0069] A figura 16B é uma vista em seção transversal da figura 16A tomada ao longo da linha F-F.

[0070] A figura 17A ilustra um sistema de coordenada local do produto formado por prensagem no exemplo 9.

[0071] A figura 17B é uma vista em seção transversal da figura 17A tomada ao longo da linha G-G.

Modalidades da Invenção

[0072] Mais adiante nesse documento, as modalidades preferidas da presente invenção serão descritas com referência à análise de uma causa de recuperação elástica em um produto formado por prensagem a partir de um material de placa fina. A aplicação da presente invenção, no entanto, não é limitada à mesma e pode incluir produtos formados por laminação e materiais lineares formados.

[0073] A figura 1 ilustra uma configuração funcional de um dispositivo de análise de causa da recuperação elástica 1 de acordo com uma modalidade da presente invenção. O dispositivo de análise de causa da recuperação elástica 1 inclui uma seção de entrada de condição de formação 2, uma seção de análise de formação por prensagem 3, uma seção de geração de dado de formação de decomposição 4, uma seção de cálculo e divisão de área 5, uma seção de análise de recuperação elástica 6, uma seção de cálculo de grau de

influência 19, uma tela de saída de grau de influência 20 que consiste em uma seção de exibição, e uma seção de armazenamento de arquivo S.

[0074] A seção de entrada de condição de formação 2 é para a entrada de condições de formação, as quais incluem dados de configuração (que incluem espessura, comprimento, largura, curvatura e distorção da placa), natureza (que inclui a qualidade do material, tal como resistência e extensão), uma configuração de matriz (que inclui as configurações de uma matriz e uma condição de punção, curvatura, diâmetro, folga e lubrificação), condições de prensagem (que inclui a carga para prensagem de enrugamentos, carga de base, tensão esférica, pressão de prensagem e temperatura) referente a uma placa de aço a serem analisadas na seção de análise de formação por prensagem 3 e na seção de análise de recuperação elástica 6. As áreas de dados usadas para a análise de formação, as áreas de dados usadas na seção de geração de dado de formação de decomposição 4, as áreas de dados usadas na seção de cálculo e divisão de área 5 e as áreas divididas usadas para exibir um resultado de análise sobre uma tela de saída podem ser configuradas separadamente e podem ser inseridas.

[0075] A seção de análise de formação por prensagem 3 obtém, através da análise numérica, uma configuração, tensão, distorção, espessura da placa de um produto formado a ser formado por prensagem com base nos dados inseridos a partir da seção de entrada de condição de formação 2. A análise numérica pode ser executada por meio de um método de elemento finito plástico-elástico, um método de elemento finito rígido-plástico, um método de elemento finito de uma etapa e um método de elemento de limite. A seção de análise de formação por prensagem 3 emite os resultados da análise numérica em uma forma de variáveis, tais como, espessura da placa

de uma peça de trabalho, os valores de componente de tensão e valores de componente de esforço ou uma distribuição destas variáveis. O dado de saída (isto é, dado original) é emitido para a seção de geração de dado de formação de decomposição 4, a seção de cálculo e divisão de área 5, a seção de análise de recuperação elástica 6 e a seção de cálculo de grau de influência 19 como, por exemplo, um arquivo "P org.k.", e é armazenado na seção de armazenamento de arquivo S.

[0076] A análise numérica na seção de análise de formação por prensagem 3 pode incluir a configuração das condições de formação, tais como dados de configuração, natureza, configuração de matriz e condições de prensagem, com o uso do método de elemento finito e a execução da análise de formação para obter numericamente a distribuição de tensão e esforço após a formação. Os exemplos de software usado para a análise numérica no método de elemento finito incluem o software disponível comercialmente, tal como PAM-STANP, LS-DYNA, AUTOFORM, OPTRIS, ITAS-3D, ASU/P-FORM, ABAQUS, MARC, HYSTAMP, HYPERFORM, SIMEX, FASTFORM-3D e QUICKSTAMP.

[0077] A seção de geração de dado de formação de decomposição 4 decompõe, sobre todo o produto formado por prensagem, o dado de formação referente ao produto formado por prensagem adquirido na seção de análise de formação por prensagem 3 em um componente de tensão no plano e um componente de momento de flexão em relação a ao menos uma das direções dos componentes direcionais da tensão para cada elemento. Em relação à tensão dos componentes direcionais obtidos pela decomposição do dado de formação do produto formado por prensagem adquirido na seção de análise de formação por prensagem 3, é gerado o dado de decomposição individual que tem somente um componente de tensão

no plano e o dado de decomposição individual que tem somente um componente de momento de flexão. O componente de tensão no plano, no presente documento, consiste em um componente de tensão média da distribuição em uma direção da espessura da placa da tensão de direção no plano do produto formado. O componente de momento de flexão consiste em uma tensão desviadora da distribuição na direção da espessura da placa na tensão de direção no plano do produto formado, isto é, um componente de tensão que tem uma distribuição na direção da espessura da placa obtida mediante a subtração do componente de tensão média a partir da distribuição na direção da espessura da placa na tensão de direção no plano.

[0078] A tensão média da distribuição na direção da espessura da placa para cada elemento do resultado da análise de formação é designada para todos os pontos de integração na direção da espessura da placa para cada elemento para gerar os dados de decomposição de componente de tensão no plano. Os dados de decomposição de componente de momento de flexão também são gerados mediante a subtração da tensão média extraída a partir do resultado de análise de formação original a partir dos valores de tensão de todos os pontos de integração na direção da espessura da placa gerados para cada elemento. Isto é, a tensão média no dado de formação é usada como o componente de tensão no plano e um valor obtido mediante a subtração da tensão média no plano a partir dos valores de tensão de todos os pontos de integração na direção da espessura da placa gerados para cada elemento é usado como o componente de momento de flexão.

[0079] A decomposição às direções da tensão no presente documento pode ser executada com base em um sistema de coordenada global ou um sistema de coordenada local. O sistema de coordenadas locais tem como base um sistema de coordenada de nós

que constituem cada um dos elementos. O sistema de coordenada local pode ser ajustado para cada elemento com base no sistema de coordenada global em um estado inicial na análise de formação por prensagem de cada elemento, isto é, em um estado em branco inicial da prensagem, e a tensão pode ser decomposta com base em um sistema de coordenada após a formação por prensagem obtida mediante o movimento e rotação do sistema de coordenada local ajustado para cada elemento após a deformação de cada elemento na formação por prensagem.

[0080] Desta forma, "P rem.hei.k" e "P rem.hen.k" são adquiridos. "P rem.hei.k" consiste no dado de decomposição individual obtido mediante a decomposição de dados do resultado da análise de formação obtidos por meio da análise numérica das condições de formação do produto formado por prensagem em dados do componente de tensão no plano em relação a ao menos uma das direções dos componentes direcionais da tensão sobre todo o produto formado por prensagem. "P rem.hen.k" consiste no dado de decomposição individual obtido mediante a decomposição de dados do resultado de análise de formação obtidos por meio da análise numérica das condições de formação do produto formado por prensagem em dados do componente de momento de flexão em relação a ao menos um das direções dos componentes direcionais da tensão sobre todo o produto formado por prensagem. Estes dados de decomposição individual são emitidos para a seção de cálculo e divisão de área 5 e a seção de análise de recuperação elástica 6, e são armazenados na seção de armazenamento de arquivo S.

[0081] A seção de cálculo e divisão de área 5 insere os arquivos de dados "P rem.hei.k" e "P rem.hen.k" emitidos a partir da seção de geração de dado de formação de decomposição 4, executa a divisão de área com base nos dados de configuração do produto formado por

prensagem, executa o cálculo para cada área, emite "P rem2.hei.k" e "P rem2.hen.k" para cada área como um resultado do cálculo para a seção de análise de recuperação elástica 6 e armazena os dados na seção de armazenamento de arquivo S. O cálculo é executado em relação a ao menos um dos componentes direcionais da tensão em uma área de interesse para cada uma das áreas divididas referentes à "P rem.hei.k" e "P rem.hen.k". O cálculo consiste em uma multiplicação com o uso de um coeficiente k, que é, de preferência, $-2 \leq k \leq +2$, com mais preferência, $0 < k \leq 1$ e com mais preferência ainda $0,5 \leq k \leq 0,95$.

[0082] O cálculo descrito acima é para multiplicar os componentes de tensão de somente uma área específica entre as áreas divididas pelo coeficiente k_i ($i=1$ a 6).

$$\sigma_x = k_1 \times \sigma_{x0}$$

$$\sigma_y = k_2 \times \sigma_{y0}$$

$$\sigma_z = k_3 \times \sigma_{z0}$$

$$\tau_{xy} = k_4 \times \tau_{xy0}$$

$$\tau_{yz} = k_5 \times \tau_{yz0}$$

$$\tau_{zx} = k_6 \times \tau_{zx0}$$

[0083] Aqui, os componentes de tensão antes do ponto de integração de uma área selecionada são representados por $(\sigma_{x0}, \sigma_{y0}, \sigma_{z0}, \tau_{xy0}, \tau_{yz0}, \tau_{zx0})$. O componente de tensão após o cálculo é representado por $(\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx})$. O coeficiente k_i é $-2 \leq k_i \leq +2$. Todos os k_i podem ser 0, ou ao menos um dos k_i pode ser 0 e os outros podem ser quaisquer valores dentro da faixa descrita acima.

[0084] A seção de cálculo e divisão de área 5 adquire os dados do produto formado por prensagem a partir dos dados de entrada e divide os dados do produto formado por prensagem em múltiplas áreas. As áreas podem ser divididas em tamanho uniforme com base na configuração do produto formado por prensagem. Alternativamente, as

áreas podem ser uniformemente divididas com base na configuração de um material em branco antes de ser formado por prensagem. As áreas divididas do produto formado podem ser determinadas com base na curvatura ou na magnitude da tensão obtida como resultado da análise de formação por prensagem ou podem ser especificadas por um operador de análise.

[0085] A seção de análise de recuperação elástica 6 executa uma análise de recuperação elástica com o uso dos arquivos de dados "P rem.hei.k" e "P rem.hen.k" emitidos a partir da seção de geração de dado de formação de decomposição 4, e os arquivos de dados "P rem2.hei.k" e "P rem2.hen.k" emitidos a partir da seção de cálculo e divisão de área 5 como dados de entrada. A seção de análise de recuperação elástica 6 computa, então, a configuração do produto formado depois que a recuperação elástica ocorre, e emite "SB rem.hei.k", "SB rem.hen.k", "SB rem2.hei.k" e "SB rem2.hen.k" como dados de resultado de cálculo para a seção de cálculo de grau de influência 19 e armazena os dados na seção de armazenamento de arquivo S. A análise de recuperação elástica consiste em uma análise numérica da configuração de um produto formado depois que a recuperação elástica ocorre mediante a execução do cálculo para um processo de descarga, por exemplo, por meio de um método de elemento finito elástico, um método de elemento finito plástico-elástico ou um método de elemento finito de uma etapa com base nas variáveis e na distribuição das variáveis, tais como, uma espessura da placa, um valor de componente de tensão e um valor de componente de distorção adquirido pela seção de geração de dado de formação de decomposição 4 e pela seção de cálculo e divisão de área 5. A configuração de recuperação elástica é adquirida como dados de análise de elemento finito (isto é, dados referentes a cada elemento e dados referentes a nós que constituem cada elemento).

[0086] A seção de cálculo de grau de influência 19 calcula um grau de influência em relação à recuperação elástica para cada área dividida com base nos dados de formação por prensagem que consistem em um resultado da análise da seção de análise de formação por prensagem 3 e "SB rem.hei.k", "SB rem.hen.k", "SBrem2.hei.k" e "SB rem2.hen.k" que consistem em resultados da análise da seção de análise de recuperação elástica 6.

[0087] O grau de influência em relação à recuperação elástica é calculado mediante a comparação de uma quantidade de recuperação elástica obtida com o uso de, como dados de entrada, dado de decomposição individual "P rem.hei.k" e "P rem.hen.k" gerados na seção de geração de dado de formação de decomposição 4, e a quantidade de recuperação elástica obtida com o uso, como dados de entrada, do arquivo de dados "P rem2.hei.k" e "P rem2.hen.k" emitidos a partir da seção de cálculo e divisão de área 5.

[0088] O seguinte pode ser usado para uma quantidade de recuperação elástica, como um alvo de avaliação do grau de influência, isto é, uma diferença posicional (isto é, deslocamento) de um ponto específico (isto é, um nó específico de dados de elemento finito) em um sistema de coordenada antes e após a ocorrência da recuperação elástica, uma diferença angular (isto é, torção) de uma linha que conecta dois pontos específicos antes e após a ocorrência da recuperação elástica, uma diferença no deslocamento relativo de dois pontos específicos (isto é, deslocamento relativo) antes e após a ocorrência da recuperação elástica, ou uma diferença angular (isto é, torção relativa) de um ângulo definido por uma linha que conecta dois pontos específicos e uma linha que conecta outros dois pontos específicos antes e após a ocorrência da recuperação elástica.

[0089] A quantidade de recuperação elástica do dado de decomposição individual "P rem.hei.k" e "P rem.hen.k" pode ser obtida

com base em uma diferença entre as configurações antes e após a ocorrência da recuperação elástica. Uma configuração do dado de formação por prensagem que consiste em um resultado de análise da seção de análise de formação por prensagem 3 pode ser usada como a configuração antes da ocorrência da recuperação elástica, e "SB rem.hei.k" e "SB rem.hen.k" que consistem em resultados de análise da seção de análise de recuperação elástica 6 podem ser usados como a configuração após a ocorrência da recuperação elástica.

[0090] A quantidade de recuperação elástica de "P rem2.hei.k" e "P rem2.hen.k" calculada para cada área dividida pode ser obtida com base em uma diferença entre as configurações antes e após a ocorrência da recuperação elástica. Os dados de formação por prensagem que consistem nos resultados de análise da seção de análise de formação por prensagem 3 podem ser usados como a configuração antes da ocorrência da recuperação elástica, e "SB rem2.hei.k" e "SB rem2.hen.k" que consistem nos resultados de análise da seção de análise de recuperação elástica 6 podem ser usados como a configuração após a ocorrência da recuperação elástica.

[0091] O grau de influência em relação à recuperação elástica é obtido mediante a multiplicação de uma diferença entre uma quantidade de recuperação elástica do dado de decomposição individual "P rem.hei.k" e "P rem.hen.k" e uma quantidade de recuperação elástica de "P rem2.hei.k" e "P rem2.hen.k" calculada para cada área dividida por um recíproco de um "1- coeficiente k (o qual foi usado para o cálculo)". Se as áreas das áreas divididas forem desiguais, o resultado da multiplicação pode ser adicionalmente dividido pela área da área a adquirir como o grau de influência por área de unidade.

[0092] A quantidade de recuperação elástica descrita acima é computada com base na análise de recuperação elástica com o uso de

um ponto fixo configurado em um arquivo de dados original "P org.k". No entanto, a quantidade de recuperação elástica varia amplamente dependendo da posição do ponto fixo. Se o grau de influência em relação à recuperação elástica dever ser adquirido com base em outro ponto fixo, prefere-se que os dados de formação por prensagem que consistem nos resultados de análise da seção de análise de formação por prensagem 3 e "SB rem.hei.k", "SB rem.hei.k", "SB rem2.hei.k" e "SB rem2.hei.k" que consistem em resultados de análise da seção de análise de recuperação elástica 6 são alinhados uns com os outros (isto é, movidos ou girados) em um ponto fixo para o qual a avaliação deve ser executada e, então, calcula-se o grau de influência em relação à recuperação elástica. Desta forma, o grau de influência em relação à recuperação elástica em outro ponto fixo pode ser facilmente obtido sem a execução novamente da análise de formação ou da análise de recuperação elástica.

[0093] A seção de cálculo de grau de influência 19 pode adquirir a distribuição do grau de influência em relação à recuperação elástica sobre todo o produto formado por prensagem mediante o cálculo sequencial do grau de influência em relação à recuperação elástica descrito acima para cada área dividida.

[0094] Prefere-se que o grau de influência de cada área dividida em relação à recuperação elástica seja exibido como uma exibição de contorno em uma tela de saída de seção de exibição de grau de influência 20. De acordo com a presente invenção, conforme descrito posteriormente nos exemplos, a recuperação elástica é analisada com base no dado de decomposição individual decomposto no componente de tensão no plano e no componente de momento de flexão, e dado de decomposição individual obtido mediante a multiplicação, por um coeficiente k, de ao menos um componente direcional da tensão em uma área de interesse para cada uma das áreas divididas a partir de

um produto formado por prensagem. Então, um grau de influência dos componentes direcionais da tensão em cada área em relação à recuperação elástica é calculado. Na presente invenção, o grau de influência assim calculado pode ser exibido separadamente ou pode ser exibido como uma exibição de contorno sobre um componente inteiro. Aquelas exibições podem ser feitas para cada componente de tensão. Desta forma, a causa da recuperação elástica pode ser analisada com mais facilidade e de maneira mais precisa do que antes.

[0095] A figura 2 ilustra um fluxo de um método de análise da causa da recuperação elástica de acordo com uma modalidade da presente invenção descrita acima. Conforme ilustrado na figura 2, as condições de formação são inseridas na seção de entrada de condição de formação 2 na etapa 1. Na etapa 2, a seção de análise de formação por prensagem 3 executa um processo de análise de formação por prensagem através da análise numérica com base nas condições de formação do produto formado por prensagem para calcular o dado de formação do produto formado por prensagem. Na etapa 3, a seção de geração de dado de formação de decomposição 4 decompõe a tensão em um componente de tensão no plano e um componente de momento de flexão para gerar o dado de decomposição individual. Na etapa 4, a seção de cálculo e divisão de área 5 divide os dados do produto formado por prensagem em múltiplas áreas, e executa o cálculo em relação a ao menos uma direção de dados de tensão para cada área para gerar os dados de cálculo. Na etapa 5, uma seção de análise de recuperação elástica 6 executa a análise de recuperação elástica para calcular uma configuração depois que a recuperação elástica ocorre. Na etapa 6, uma seção de cálculo de grau de influência 7 calcula um grau de influência de cada área dividida em relação à recuperação elástica com base na configuração do produto

formado por prensagem depois que a recuperação elástica ocorre. Na etapa 7, uma seção de exibição 8 exibe o resultado do cálculo como uma exibição de contorno sobre uma tela da seção de exibição ou envia o resultado do cálculo para uma impressora. Na etapa 9, com base no resultado de saída assim obtido, se necessário, uma seção de modificação de condição fixa 9 modifica um ponto fixo da recuperação elástica para calcular um grau de influência em relação à recuperação elástica para a avaliação detalhada. O produto formado pode ser formado com base no método de análise da causa da recuperação elástica mencionado anteriormente. Por exemplo, uma área dividida com um alto grau de influência em relação à recuperação elástica pode ser especificada com base no resultado anterior obtido pelo método de análise da causa da recuperação elástica. Em relação à área assim especificada da causa da recuperação elástica, se a tensão média no plano ou a tensão desviadora, as quais consistem em causas da ocorrência da recuperação elástica, for alta, uma contramedida pode ser tomada separadamente contra a causa da recuperação elástica especificada. O projeto da matriz pode ser modificado de acordo com a causa da recuperação elástica especificada, a fim de fornecer um produto formado com uma quantidade reduzida de recuperação elástica.

[0096] A figura 3 ilustra uma configuração de hardware exemplificadora de um dispositivo usado para analisar a causa da recuperação elástica. Os processos na seção de análise de formação por prensagem 3, na seção de geração de dado de formação de decomposição 4, na seção de cálculo e divisão de área 5 e na seção de análise de recuperação elástica 6 são fornecidos por um programa 10 para a análise da causa da recuperação elástica, e são executados por um computador. O computador inclui uma CPU 11, uma memória 12 que armazena o resultado do processamento, um dispositivo de

exibição 13 que consiste em uma seção de exibição, dispositivos de entrada 14, tais como, um teclado e um mouse, um disco rígido 15, um dispositivo de armazenamento externo 16, tal como uma unidade de CD/DVD, uma placa de interface de rede (NIC) 17 e uma impressora 18. O programa 10 para a análise da causa da recuperação elástica pode registrar os dados em um meio de registro legível por computador para a distribuição. Mais adiante nesse documento, a presente invenção será descrita com mais detalhes com referência aos exemplos.

Exemplos

(Exemplo 1: um exemplo em que todos os componentes de tensão foram ajustados a 0)

[0097] A figura 4 é uma vista em perspectiva que ilustra uma configuração de um produto formado por prensagem no exemplo 1 de acordo com a presente invenção. Primeiramente, uma análise de formação por prensagem foi executada pelo software LS-DYNA comercialmente disponível para a análise de simulação da formação de placa com base no método de elemento finito. Como os dados referentes à natureza de uma placa de metal, o dado referente a uma placa de aço de alta resistência que tem uma espessura da placa de 1,6 mm e resistência à tração de 590 MPa foi usado. A configuração da matriz (isto é, uma matriz, um perfurador ou um retentor) foi modelada em elementos de invólucro e, então, analisada como corpos rígidos. A folga da matriz foi ajustada para 0 mm. O coeficiente de atrito foi ajustado para 0,15. A carga de formação foi ajustada para 3000 kN.

[0098] Um programa que gera o dado de decomposição individual decomposto no componente de tensão no plano (isto é, a tensão média) e no componente de momento de flexão (isto é, a tensão desviadora) inclui em um arquivo ao qual os dados referentes à tensão

e distorção adquiridos a partir da análise de formação por prensagem são enviados, como um dado de entrada, e o dado de decomposição individual gerado a partir do dado de entrada incluído. Aqui, a tensão média para cada elemento extraído a partir do resultado de análise de formação original é designada para todos os pontos de integração na direção da espessura da placa para cada elemento e o componente de tensão no plano dados de decomposição é gerado. A tensão média extraída a partir do resultado de análise de formação original é subtraída a partir dos valores de tensão (os quais foram respectivamente gerados em cada elemento) de todos os pontos de integração na direção da espessura da placa, a fim de gerar os dados de decomposição de componente de momento de flexão.

[0099] Um programa que executou o cálculo e divisão de área inclui em um arquivo ao qual os dados referentes à tensão e distorção adquiridos a partir do dado de decomposição individual foram emitidos como dados de entrada e divide as áreas do produto formado por prensagem para o cálculo. A figura 5 ilustra as áreas divididas do produto formado por prensagem ilustradas na figura 4, no exemplo 1, da presente invenção. O cálculo no presente documento foi executado para todos os pontos de integração de elementos que pertencem a cada área. No cálculo, todos os componentes de tensão foram multiplicados pelo coeficiente 0 para se obter $\sigma_x=0$, $\sigma_y=0$, $\sigma_z=0$, $\tau_{xy}=0$, $\tau_{yz}=0$ e $\tau_{zx}=0$.

[00100] Os componentes de tensão antes do cálculo nos pontos de integração de uma área selecionada são representados como (σ_x0 , σ_y0 , σ_z0 , $\tau_{xy}0$, $\tau_{yz}0$, $\tau_{zx}0$). Os componentes de tensão após o cálculo nos pontos de integração da área selecionada são representados como (σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{zx}). A tensão calculada foi emitida como um arquivo de resultado de cálculo.

[00101] A seguir, um processo de análise de recuperação elástica

foi executado com o uso do software LS-DYNA mencionado acima. Os resultados emitidos a partir do programa que executa o cálculo e divisão de área foram inseridos no software LS-DYNA para analisar a recuperação elástica. A recuperação elástica foi analisada com o uso da análise elástica por meio de um método implícito estático. O cálculo e análise de recuperação elástica foram repetidos para todas as áreas divididas.

[00102] A figura 6 ilustra um resultado da análise de recuperação elástica com base nos dados originais adquiridos a partir da análise de formação por prensagem do exemplo 1 da presente invenção. A figura 6 ilustra uma avaliação do deslocamento na direção Y. No desenho, $V_{max}=0,49$ mm representa que a quantidade de recuperação elástica em uma posição em que o deslocamento na direção Y se torna um máximo como 0,49 mm.

[00103] A figura 7A e figura 7B são exemplos da análise sobre toda a superfície da parte em que o componente de momento de flexão (isto é, a tensão desviadora) e o componente de tensão no plano (isto é, a tensão média) em relação à quantidade de recuperação elástica com $V_{max}=0,49$ mm na figura 6 são influenciados.

[00104] A figura 7A ilustra a quantidade de recuperação elástica em cada área para qual o cálculo é executado em relação aos dados de decomposição de componente de momento de flexão (isto é, tensão desviadora) do exemplo 1 da presente invenção.

[00105] A figura 7B ilustra a quantidade de recuperação elástica em cada área para a qual o cálculo é executado em relação aos dados de decomposição de componente de tensão no plano (isto é, tensão média) do exemplo 1 da presente invenção.

[00106] Conforme ilustrado nas figuras 7A e 7B, uma área causal da recuperação elástica em relação ao deslocamento de direção Y

(Vmax) na posição de deslocamento máximo na direção Y ilustrado na figura 6 foi separada na influência do componente de tensão no plano e na influência do componente de momento de flexão, de tal modo que os graus de influência dos mesmos fossem especificados. Na figura 7A que ilustra a influência da tensão desviadora, as quantidades de influência de áreas representadas por A, B, C e D foram +0,28 mm, -0,43mm, +0,21 mm e +0,34 mm, respectivamente. Na figura 7B que ilustra a influência da tensão média, a quantidade de influência de uma área representada por E foi de +0,10 mm. Conforme observado a partir das figuras 7A e 7B, tanto o componente de tensão no plano como o componente de momento de flexão têm influência sobre a quantidade de recuperação elástica na direção Y.

[00107] Conforme descrito no exemplo 1, de acordo com uma modalidade da presente invenção, a área causal da recuperação elástica pode ser analisada de maneira quantitativa. Adicionalmente, pode ser analisado de maneira fácil e precisa se a recuperação elástica é causada pelo componente de tensão no plano ou pelo componente de tensão de momento de flexão através da análise numérica. O resultado de análise foi exibido visualmente de tal modo que a área causal da recuperação elástica possa ser facilmente especificada. A análise pode ser executada em um computador sem exigir uma matriz real ou uma placa de aço. Consequentemente, o processo de formação pode ser facilmente selecionado no estágio de projeto.

(Exemplo 2: um exemplo em que somente σ_y do componente de tensão no plano foi ajustado para 0)

[00108] No Exemplo 1 descrito acima, todos os componentes de tensão de todos os pontos de integração de elementos que pertencem a cada área foram multiplicados pelo coeficiente 0. Diversos outros cálculos serão descritos abaixo. A figura 8A ilustra uma configuração

de um produto formado por prensagem do exemplo 2. A figura 8B ilustra as áreas divididas do produto formado por prensagem ilustrado na figura 8A. Na figura 8B, três pequenos círculos representam os pontos fixos. O dado de decomposição individual que tem somente o componente de tensão no plano foi gerado a partir dos dados originais e a tensão no plano foi analisada. Uma quantidade de deslocamento na direção do eixo geométrico Z (isto é, uma direção perpendicular à folha de papel) representada por Z_a foi avaliada como a quantidade de recuperação elástica.

[00109] Todo o produto formado por prensagem foi dividido em cinco áreas: área 801 a área 805. No exemplo 2, somente σ_y que é considerado ter a maior influência entre os componentes de tensão no plano em cada área, conforme mostrado na tabela 1, foi multiplicado por 0. Nenhum cálculo foi executado para outros componentes de tensão (isto é, o coeficiente $k=1$). O resultado da análise de recuperação elástica com base na tensão de cálculo assim obtida é mostrado em uma parte inferior da tabela 1. A tabela 1 mostra que a razão de influência com o σ_y da área 804 ajustado para 0 se tornou a máxima. Isto é, no exemplo 2, mostrou-se que os componentes de tensão no plano na direção do eixo geométrico Y nas áreas 803 e 804 consistem em causas fundamentais da ocorrência da quantidade de recuperação elástica no deslocamento ao longo da direção Z na seção Z_a causado pela tensão no plano. A quantidade de recuperação elástica em uma parte de extremidade (Z_a) calculada com base no dado de decomposição individual que tem somente o componente de tensão no plano foi de 23,292 mm. Uma vez que a soma das quantidades de influência das áreas mostradas na tabela 1 é 26,44 mm, pode ser confirmado que a presente invenção fornece uma análise substancialmente precisa.

Tabela 1

Condições e Resultados da Análise no Exemplo 2

Condições da análise		Componente de tensão média		Ponto fixo (base)					
				Componente de tensão média a ser editado					
				σ_x	σ_y	σ_z	t_{xy}	t_{yz}	t_{zx}
		Tensão em cada área	Área de interesse	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0	1,0
			Outra área de interesse	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Resultados de análise de recuperação elástica									
Ponto avaliado	Ponto Za	Soma das quantidades de influência		Área 801	Área 802	Área 803	Área 804	Área 805	Total
Nó especificado (deslocamento máximo) (mm)	26,76	26,44	Quantidade de influência (mm)	0,06	2,01	11,34	14,14	-1,10	26,44
			Razão de influência (%)	0,21	7,51	42,37	52,84	-4,11	98,82

(Exemplo 3: um exemplo em que os pontos fixos foram deslocados)

[00110] No exemplo 3, foi usado um produto formado por prensagem ilustrado na figura 9A que tinha a mesma configuração que a do exemplo 2. No exemplo 3, as posições do ponto fixo ilustrado na figura 8B do exemplo 2 foram deslocadas conforme ilustrado na figura 9B. Primeiramente, como no exemplo 1, todos os componentes de tensão de elementos que pertencem a cada área foram multiplicados pelo coeficiente 0. O resultado de análise assim obtido é mostrado na tabela 2. O deslocamento dos pontos fixos pode permitir que um observador determine se o produto parece estar torcido devido ao seu formato projetado ou devido ao fato de que é de fato torcido. As posições dos pontos fixos são deslocadas no estágio final do cálculo, deste modo, não é necessário refazer o cálculo a partir do início.

Tabela 2

Condições e resultados da análise no Exemplo 3

Condições da análise		Componente de tensão média		Mudança de ponto fixo					
				Componente de tensão média a ser editado					
				σ_x	σ_y	σ_z	t_{xy}	t_{yz}	t_{zx}
		Tensão em cada área	Área de interesse	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			Outra área de interesse	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Resultados de análise de recuperação elástica									
Ponto avaliado	Ponto Za	Soma das quantidades de influência		Área 901	Área 902	Área 903	Área 904	Área 905	Total
Nó especificado (deslocamento máximo) (mm)	13,67	17,18	Quantidade de influência (mm)	2,46	5,03	6,18	5,87	-2,38	17,16
			Razão de influência (%)	18,01	36,80	45,18	42,91	-17,38	125,52

(Exemplo 4: um exemplo em que todos os componentes de tensão no plano foram multiplicados pelo coeficiente 0,5)

[00111] No exemplo 4, o produto formado por prensagem de uma configuração ilustrada na figura 8A foi analisado com base no dado de decomposição individual que tinha somente um componente de tensão no plano gerado a partir dos dados originais. Primeiramente, uma quantidade de recuperação elástica foi avaliada com todos os componentes de tensão no plano das áreas a serem analisadas que são ajustados para 0. Como resultado da avaliação, a quantidade de recuperação elástica com todos os componentes de tensão no plano, por exemplo, da área 801 que é ajustado para 0 foi de 26,59 mm, enquanto que a quantidade de recuperação elástica do dado de decomposição individual mostrado na tabela 3 é de 26,76 mm. Consequentemente, a diferença que consistiu no grau de influência foi de 0,17 mm. A soma das quantidades de influência em relação à recuperação elástica de cada uma das áreas 801 a 805 foi de 32,63 mm e o erro foi de 21,93%.

[00112] Então, em relação ao produto formado por prensagem de uma configuração ilustrada na figura 8A, todos os componentes de tensão no plano foram multiplicados por um coeficiente 0,5, conforme mostrado na tabela 4 e a quantidade de recuperação elástica foi avaliada. Como resultado da avaliação, a quantidade de recuperação elástica com todos os componentes de tensão no plano, por exemplo, da área 801 multiplicados por 0,5 foi de 27,07 mm, enquanto que a quantidade de recuperação elástica do dado de decomposição individual é de 26,76 mm. Aqui, o grau de influência foi de -0,63, o qual foi obtido mediante a multiplicação da diferença, -0,32 mm, pelo recíproco de $(1-k)$, isto é, $1/(1-0,5) = 2,0$. A soma da quantidade do grau de influência das áreas 801 a 805 calculada de maneira similar foi de 27,50 mm e o erro foi reduzido a partir de 21,93% a 2,78%. Isto

mostrou que os componentes de tensão no plano nas áreas 803 e 804 consistem em causas fundamentais da ocorrência da quantidade de recuperação elástica na parte de extremidade.

[00113] A precisão da avaliação foi aumentada com um coeficiente de 0,5 conforme comparado ao caso com um coeficiente de 0. Isto se deve ao fato de que a relação entre a tensão e o deslocamento não é realmente linear. Se a relação entre a tensão e o deslocamento fosse linear, o cálculo poderia ter sido executado com o coeficiente 0, como um coeficiente a ser multiplicado a um componente de tensão de uma determinada área. No entanto, a relação real entre a tensão e o deslocamento não é linear, conforme ilustrado na figura 10. Consequentemente, um gradiente da tensão σ_0 se difere de um gradiente da tensão editada σ , e o erro se torna grande quando a aproximação linear é executada. Quando o coeficiente foi ajustado para 0,5, no entanto, o valor da tensão editada σ poderia se aproximar ao valor de tensão real.

Tabela 3

Condições (k=0) e resultados da análise no Exemplo 4

Condições da análise		Componente de tensão média		Ponto fixo (base)					
				Componente de tensão média a ser editado					
				σ_x	σ_y	σ_z	t_{xy}	t_{yz}	t_{zx}
		Tensão em cada área	Área de interesse	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			Outra área de interesse	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Resultados de análise de recuperação elástica									
Ponto avaliado	Ponto Za	Soma das quantidades de influência		Área 801	Área 802	Área 803	Área 804	Área 805	Total
Nó especificado (deslocamento máximo)(mm)	26,76	32,63	Quantidade de influência (mm)	0,17	0,91	15,52	14,55	1,58	32,63
			Razão de influência (%)	0,63	3,42	57,99	54,00	5,89	121,93
								Erro (%)	21,93

Tabela 4

Condições (k=0,5) e resultados da análise no Exemplo 4

Condições da análise		Componente de tensão média		Ponto fixo (base)					
				Componente de tensão média a ser editado					
				σ_x	σ_y	σ_z	t_{xy}	t_{yz}	t_{zx}
		Tensão em cada área	Área de interesse	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
			Outra área de interesse	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Resultados de análise de recuperação elástica									
Ponto avaliado	Ponto Za	Soma das quantidades de influência		Área 801	Área 802	Área 803	Área 804	Área 805	Total
Nó especificado (deslocamento máximo)(mm)	26,76	27,5	Diferença (grau)	-0,32	0,25	6,66	6,64	0,52	
			Quantidade de influência (mm)	-0,63	0,50	13,31	13,28	1,04	27,50
			Razão de influência (%)	-2,37	1,88	49,76	49,63	3,88	102,78
								Erro (%)	2,78

(Exemplo 5: um exemplo em que todos os componentes de tensão de momento de flexão foram multiplicados pelo coeficiente 0,5)

[00114] No exemplo 5, a influência do componente de momento de flexão (isto é, o componente de tensão desviadora) foi analisada em relação ao ângulo de torção em torno do eixo geométrico X em uma parte de extremidade do produto formado por prensagem ilustrado na figura 11A. Primeiramente, o dado de formação de decomposição individual que tinha somente o componente de momento de flexão foi criado a partir dos dados originais. O dado foi dividido em cinco áreas: áreas 1101 a 1105 conforme ilustrado na figura 11B. O grau de influência em relação ao ângulo de torção relativo de todos os componentes de momento de flexão em cada área foi avaliado. O ângulo de torção em torno do eixo geométrico X θ no produto formado por prensagem do exemplo 5 consiste na soma de θ_1 e θ_2 ilustrada na figura 11C. O coeficiente k no presente documento foi de 0. Nesta avaliação, conforme ilustrado na tabela 5, a quantidade de recuperação elástica (isto é, a quantidade de torção relativa) do dado de formação de decomposição individual foi de 4,48 graus. A quantidade de recuperação elástica foi de 3,75 graus com o componente de força de momento, por exemplo, da área 1101 que é ajustado para zero. O grau de influência foi de 0,74 graus, o qual foi obtido mediante a multiplicação da diferença 0,74 graus pelo recíproco de $(1-k)$, isto é, $1/(1-0) = 1$. A influência total assim obtida do ângulo de torção relativa a partir da área 1101 à área 1105 foi de 4,19 graus e o erro foi de -6,60%.

[00115] A avaliação foi feita com o coeficiente k sendo 0,5 conforme mostrado na tabela 6.

[00116] Como resultado da avaliação, a quantidade de recuperação elástica obtida, por exemplo, mediante a multiplicação do componente de movimento da área 1101 por 0,5 foi de 4,09 graus. O grau de

influência foi de -0,78 graus, o qual foi obtido mediante a multiplicação de -0,39 graus que consiste na diferença da quantidade de recuperação elástica de dado de formação de decomposição individual 4,48, pelo recíproco de $(1-k)$, isto é, $1/(1-0,5) = 2,0$. A soma das quantidades de influência em relação ao ângulo de torção de cada área obtida de maneira similar foi de 4,40 graus e o erro foi reduzido a partir de -6,60% a -1,81%. O resultado na tabela 6 mostra que a área 1103 tem a maior influência em relação à ocorrência de torção.

Tabela 5

Condições (k=0) e resultados da análise no Exemplo 5

Condições da análise		Componente de tensão desviadora		Ponto fixo (base)					
				Componente de tensão média a ser editado					
				σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{zx}
		Tensão em cada área	Área de interesse	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			Outra área de interesse	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Resultados de análise de recuperação elástica									
Ponto avaliado	θ	Soma das quantidades de influência		Área 1101	Área 1102	Área 1103	Área 1104	Área 1105	Total
Ângulo de torção relativo de 4 nós (graus)	4,48	4,19	Quantidade de influência (graus)	0,74	1,00	1,21	0,34	0,91	4,19
			Razão de influência (%)	16,41	22,21	26,99	7,48	20,30	93,40
								Erro (%)	-6,60

Tabela 6

Condições (k=0,5) e resultados da análise no Exemplo 5

Condições da análise		Componente de tensão desviadora		Ponto fixo (base)					
				Componente de tensão média a ser editado					
				σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{zx}
		Tensão em cada área	Área de interesse	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
			Outra área de interesse	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Resultados de análise de recuperação elástica									
Ponto avaliado	θ	Soma das quantidades de influência		Área 1101	Área 1102	Área 1103	Área 1104	Área 1105	Total
Nó especificado (deslocamento máximo)(mm)	4,48	4,04	Diferença (grau)	0,39	0,50	0,62	0,18	0,51	
			Quantidade de influência*1/0,5 grau	0,78	1,00	1,24	0,35	1,03	4,40
			Razão de influência (%)	17,40	22,30	27,68	7,90	22,90	98,19
								Erro (%)	-1,81

(Exemplo 6: um exemplo em que os critérios de avaliação são modificados)

[00117] No exemplo 6, o produto formado por prensagem ilustrado na figura 12A que tem a mesma configuração que a do exemplo 2 foi analisado com base no dado de decomposição individual que tinha somente o componente de tensão no plano gerado a partir dos dados originais. Na análise, o valor médio do deslocamento de dois nós (pontos N1 e N2) em uma parte de extremidade foi usado como os critérios de avaliação. A quantidade de recuperação elástica foi calculada em relação a todos os componentes de tensão no plano com o uso do coeficiente $k=0$ e do valor médio de deslocamento dos dois nós (os pontos N1 e N2) na parte de extremidade, ilustrada na figura 12A, foi avaliada. A figura 12B ilustra as áreas divididas. O resultado do cálculo é mostrado na tabela 7.

Tabela 7

Condições e resultados da análise no Exemplo 6

Condições da análise		Componente de tensão média		Ponto fixo (base)					
Tensão de área ajustada para 0				Componente de tensão média a ser editado					
				σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{zx}
		Tensão em cada área	Área de interesse	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			Outra área de interesse	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Resultados de análise de recuperação elástica									
Ponto avaliado	Parte de extremidade	Soma das quantidades de influência		Área 1201	Área 1202	Área 1203	Área 1204	Área 1205	Total
Valor médio de deslocamento de 2 nós (mm)	22,15	27,33	Quantidade de influência (mm)	-1,30	-0,72	13,40	13,63	2,32	27,33
			Razão de influência (%)	-5,85	-3,24	60,48	61,53	10,48	123,39

(Exemplo 7: um exemplo em que os critérios de avaliação são modificados)

[00118] No exemplo 7, em relação ao produto formado por prensagem ilustrado na figura 13A, o deslocamento relativo do deslocamento de dois nós (pontos N3 e N4) em uma parte de extremidade de OLE_LINK1 foi empregado como um critério de avaliação com base no dado de decomposição individual que tinha somente o componente de tensão no plano gerado a partir dos dados originais de OLE_LINK1. A quantidade de recuperação elástica foi calculada como todos os componentes de tensão no plano sendo 0 e o deslocamento relativo entre os dois nós (os pontos N3 e N4) (isto é, a diferença entre os pontos N3 e N4) na parte de extremidade ilustrada na figura 13A foi avaliado. A figura 13B ilustra as áreas divididas. O resultado do cálculo é mostrado na tabela 8.

Tabela 8

Condições e resultados da análise no Exemplo 7

Condições da análise		Componente de tensão média		Ponto fixo (base)					
				Componente de tensão média a ser editado					
				σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{zx}
		Tensão em cada área	Área de interesse	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			Outra área de interesse	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Resultados de análise de recuperação elástica									
Ponto avaliado	Parte de extremidade	Soma das quantidades de influência		Área 1301	Área 1302	Área 1303	Área 1304	Área 1305	Total
Deslocamento relativo de 2 nós (mm)	9,21	10,59	Quantidade de influência (mm)	2,94	3,26	4,24	1,64	-1,49	10,59
			Razão de influência (%)	31,88	35,41	46,02	17,79	-16,19	114,90

(Exemplo 8: um exemplo em que os critérios de avaliação são modificados)

[00119] No exemplo 8, em relação ao produto formado por prensagem ilustrado na figura 14A, a influência do componente de momento de flexão (isto é, o componente de tensão desviadora) foi analisada em relação ao deslocamento relativo em torno do eixo geométrico X com base no dado de decomposição individual que tinha somente o componente de tensão de momento gerado a partir dos dados originais. Os pontos fixos foram ajustados a uma parte central do produto formado por prensagem conforme ilustrado na figura 14B. Então, conforme ilustrado na figura 14C, o deslocamento na direção do eixo geométrico Z foi calculado em relação aos quatro pontos Z1, Z2, Z3 e Z4 nas extremidades e $\Delta = (Z2 - Z1) + (Z3 - Z4)$ foi avaliado como deslocamento relativo em torno do eixo geométrico X nos quatro nós. O resultado do cálculo é mostrado na tabela 9. Conforme descrito acima, os diversos critérios de avaliação podem ser empregados na presente invenção.

Tabela 9

Condições e resultados da análise no Exemplo 8

Condições da análise		Componente de tensão média		Ponto fixo (base)					
Tensão de área ajustada para 0				Componente de tensão média a ser editado					
				σ_x	σ_y	σ_z	t_{xy}	t_{yz}	t_{zx}
		Tensão em cada área	Área de interesse	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			Outra área de interesse	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Resultados de análise de recuperação elástica									
Ponto avaliado	Δ	Soma das quantidades de influência		Área 1401	Área 1402	Área 1403	Área 1404	Área 1405	Total
Deslocamento relativo de 4 nós (mm)	5,29	4,82	Diferença (graus)	0,81	1,14	1,57	0,32	0,98	4,82
			Razão de influência (%)	15,24	21,58	29,69	5,97	18,48	90,96

(Exemplo 9: um exemplo em que a avaliação foi feita com o sistema de coordenada global sendo convertido em um sistema de coordenada local)

[00120] No exemplo 9, a análise de recuperação elástica foi executada em relação ao produto formado por prensagem ilustrado na figura 15A. No exemplo 9, a avaliação foi feita com um sistema de coordenada global ilustrado na figura 16A sendo convertido em um sistema de coordenada local ilustrado na figura 17A. A figura 16B é uma vista em seção transversal da figura 16A tomada ao longo da linha F-F e a figura 17B é uma vista em seção transversal da figura 17A tomada ao longo da linha G-G. Somente σ_{y1} no sistema de coordenada local convertido a partir do sistema de coordenada global, com base no dado de decomposição individual que tem somente o componente de tensão no plano gerado a partir dos dados originais, foi multiplicado por 0,5. Nenhum cálculo foi executado para os outros componentes de tensão (isto é, o coeficiente $k=1$). O deslocamento máximo de uma seção Za ilustrada na figura 15A foi usado como um critério de avaliação. O resultado da análise de recuperação elástica executado com base na tensão de operação assim obtida é mostrado na tabela 10.

Tabela 10

Condições e resultados da análise no Exemplo 9

Condições da análise		Componente de tensão média		Ponto fixo (base)					
				Componente de tensão média a ser editado					
				σ_x	σ_y	σ_z	τ_{xy}	τ_{yz}	τ_{zx}
		Tensão em cada área	Área de interesse	1,0	0,5	1,0	1,0	1,0	1,0
			Outra área de interesse	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Resultados de análise de recuperação elástica									
Ponto avaliado	Base média	Soma das quantidades de influência		Área 1501	Área 1502	Área 1503	Área 1504	Área 1505	Total
Nó especificado (deslocamento máximo) *deslocamento na direção Z (sistema de coordenada global) (mm)	26,76	27,90	Diferença (grau)	-0,32	0,26	6,75	6,74	0,53	
			Quantidade de influência*1/0,5 grau	-0,64	0,51	13,51	13,51	1,05	27,90
			Razão de influência (%)	-2,41	1,91	50,48	50,35	3,94	104,27
								Erro (%)	4,27

Aplicabilidade Industrial

[00121] De acordo com uma modalidade da presente invenção, a causa da recuperação elástica pode ser analisada de maneira precisa e o tempo necessário para determinar um processo de formação para um produto formado pode ser reduzido.

Explicações para os símbolos de referência

- 1: Dispositivo de análise de causa da recuperação elástica
- 2: Seção de entrada de condição de formação
- 3: Seção de análise de formação por prensagem
- 4: Seção de geração de dado de formação de decomposição
- 5: Seção de cálculo e divisão de área
- 6: Seção de análise de recuperação elástica
- 7: Seção de cálculo de grau de influência
- 8: Seção de exibição
- 9: Seção de modificação de condição fixa
- 10: Programa
- 11: CPU
- 12: Memória
- 13: Dispositivo de exibição
- 14: Dispositivo de entrada
- 15: Disco rígido
- 16: Dispositivo de armazenamento externo
- 17: NIC (Placa de interface de rede)
- 18: Impressora
- S: Seção de armazenamento

REIVINDICAÇÕES

1. Método para análise de uma causa de recuperação elástica em um produto formado que é formado por prensagem a partir de uma placa de aço ou outras placas de metal, caracterizado pelo fato de que compreende:

executar uma análise de formação através de uma simulação numérica por um método de elemento finito utilizando múltiplos elementos com base em uma condição de formação de um produto plasticamente formado a fim de calcular o dado de formação do produto formado;

sendo que a condição de formação inclui dados relacionados com a configuração e natureza do produto formado plasticamente, uma configuração de matriz e condições de prensagem, e

sendo que os dados de formação incluem dados de tensão e variáveis, tais como espessura da placa de uma peça de trabalho, os valores de componente de tensão e valores de componente de esforço ou uma distribuição destas variáveis;

decompor, em toda a superfície do produto formado, os dados de tensão incluídos no dado de formação do produto formado em um componente de tensão no plano e um componente de momento de flexão em relação a ao menos um componente direcional dentre os componentes direcionais da tensão;

gerar, a partir do dado de formação do produto formado, um dado de decomposição que inclui ao menos um dentre um primeiro dado de decomposição e um segundo dado de decomposição como um dado de formação de decomposição antes do cálculo, em que o primeiro dado de decomposição tem somente um componente de tensão no plano referente à tensão do componente direcional, em que o segundo dado de decomposição tem somente um componente de momento de flexão

referente a uma tensão do componente direcional;

executar um cálculo de multiplicação de ao menos um componente direcional dos componentes direcionais da tensão no dado de formação de decomposição antes do cálculo referente a cada uma das áreas divididas a partir do produto formado por um coeficiente k em uma faixa de $-2 \leq k \leq 2$, a fim de gerar um dado de formação de decomposição depois do cálculo;

analisar uma primeira configuração de recuperação elástica obtida como dados de análise de elemento finito através de uma simulação numérica em relação ao dado de formação de decomposição antes do cálculo e uma segunda configuração de recuperação elástica obtida como dados de análise de elemento finito através de uma simulação numérica em relação ao dado de formação de decomposição depois do cálculo;

obter um grau de influência de uma tensão em cada uma das áreas em relação a uma deformação de efeito de mola, calculada pela multiplicação da diferença por um recíproco de $1 - \text{coeficiente } k$, sendo que a diferença é uma diferença entre;

- uma quantidade de recuperação elástica que é a diferença entre uma configuração antes do efeito de mola do produto formado incluída no dado de formação e a primeira configuração de recuperação elástica e

- uma quantidade de recuperação elástica que é a diferença entre uma configuração antes do efeito de mola e a segunda configuração de recuperação elástica; e

exibir o grau de influência em relação à deformação de efeito de mola calculada para cada área.

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que:

a execução da análise de formação é executada através da

simulação numérica por meio do método de elemento finito com o uso de múltiplos elementos;

uma tensão média em uma direção da espessura da placa de cada componente direcional para cada elemento no dado de formação do produto formado é usada como o componente de tensão no plano do componente direcional; e

um valor obtido mediante a subtração da média da tensão no plano a partir de cada um dos componentes direcionais do valor de tensão para todos os pontos de integração, que surge para cada elemento, é usado como o componente de momento de flexão do componente direcional.

3. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a faixa do coeficiente k consiste em $0 < k \leq 1$.

4. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a faixa do coeficiente k consiste em $0,5 \leq k \leq 0,95$.

5. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o produto formado consiste em um produto formado por prensagem.

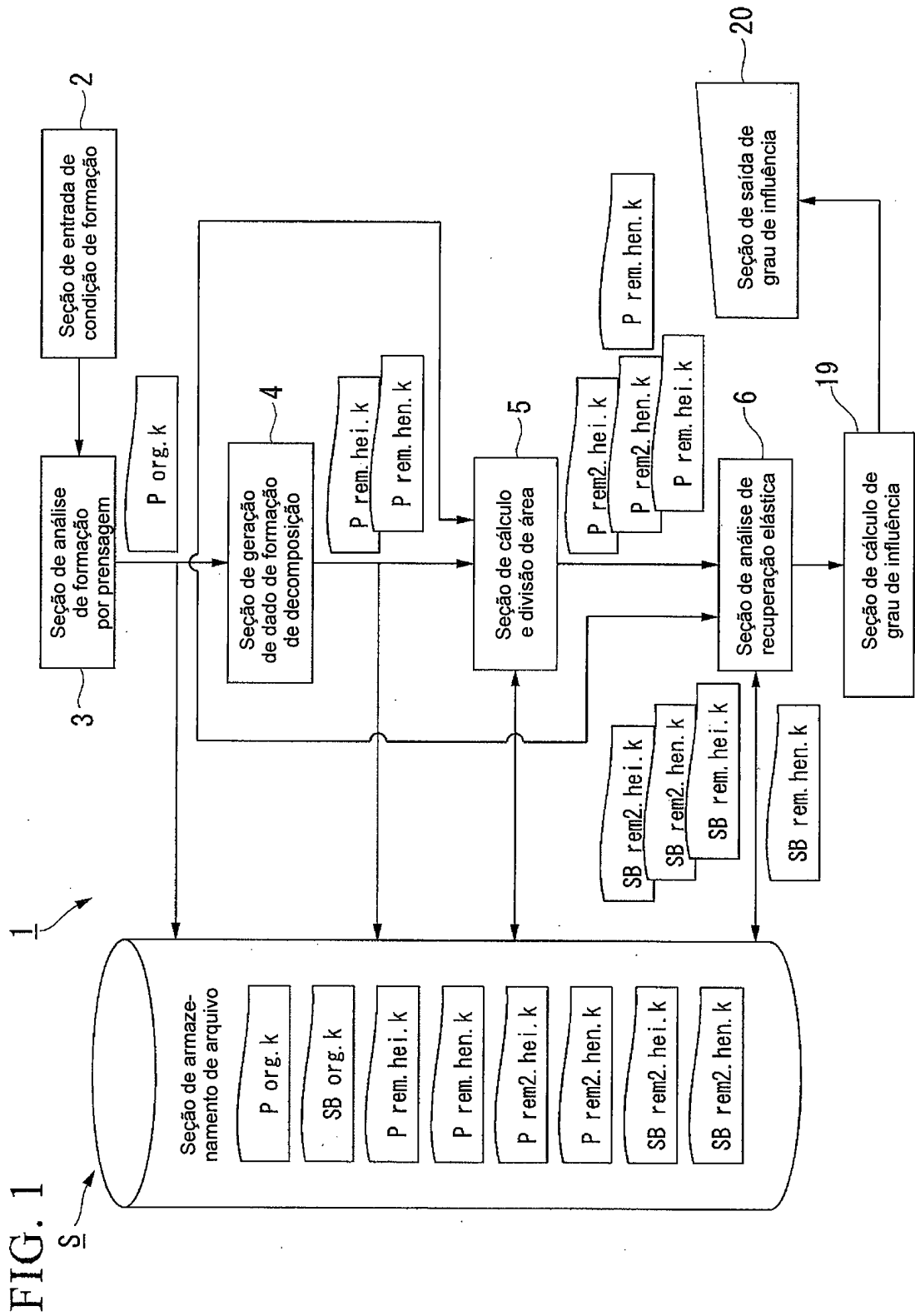


FIG. 2

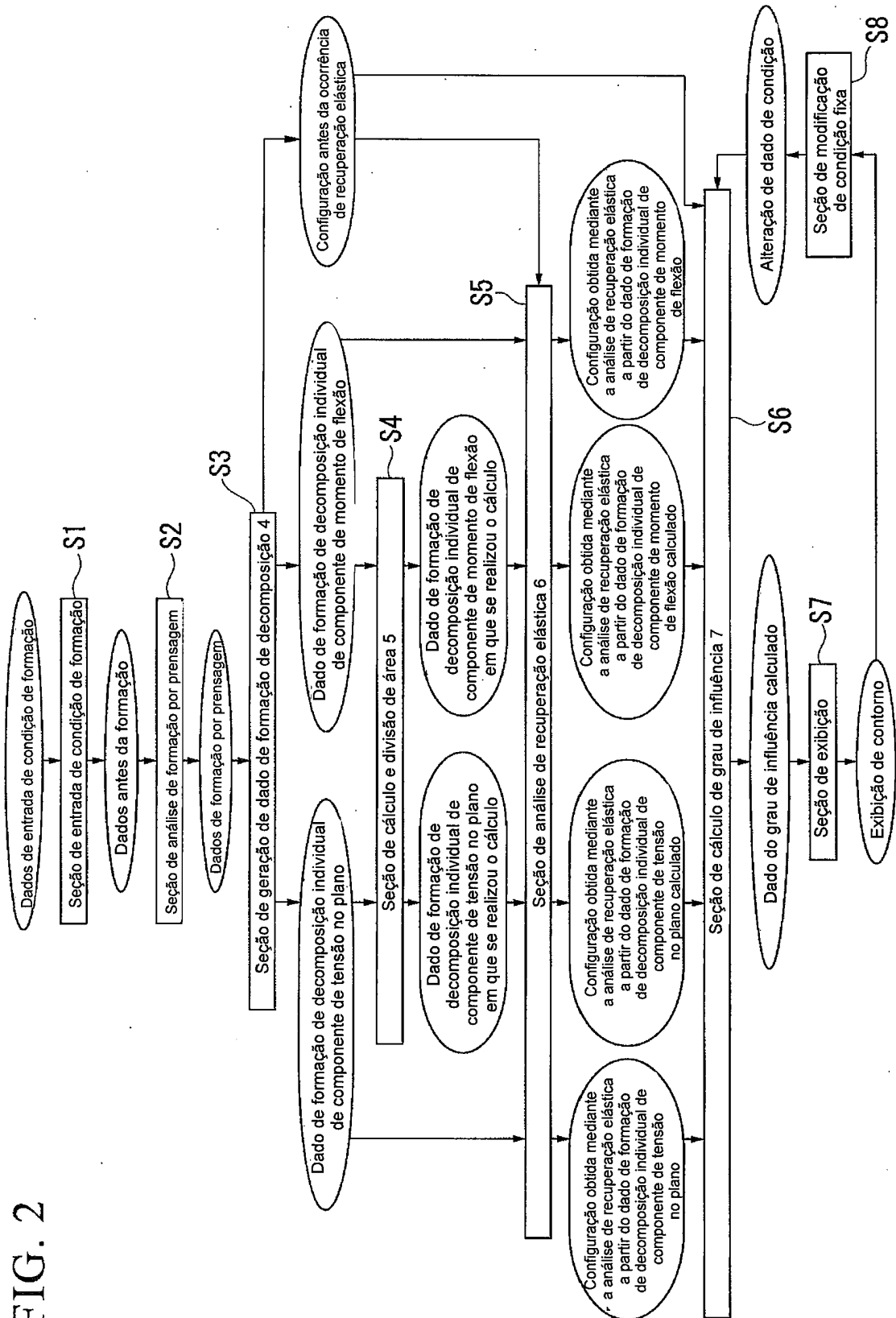


FIG. 3

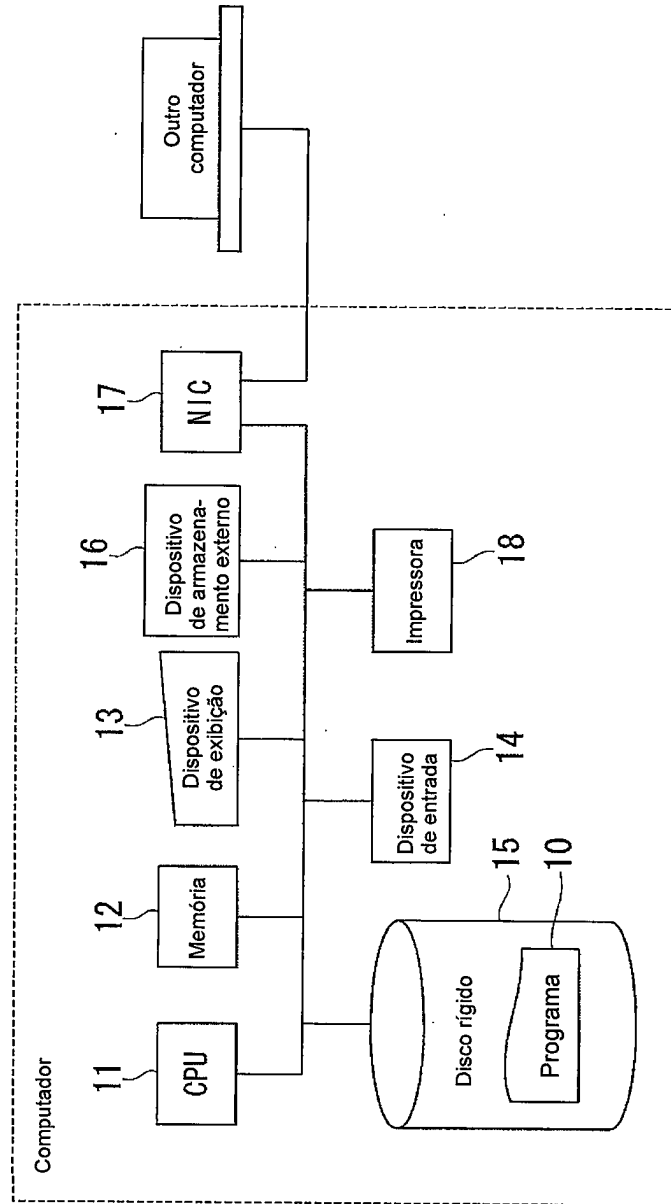


FIG. 4

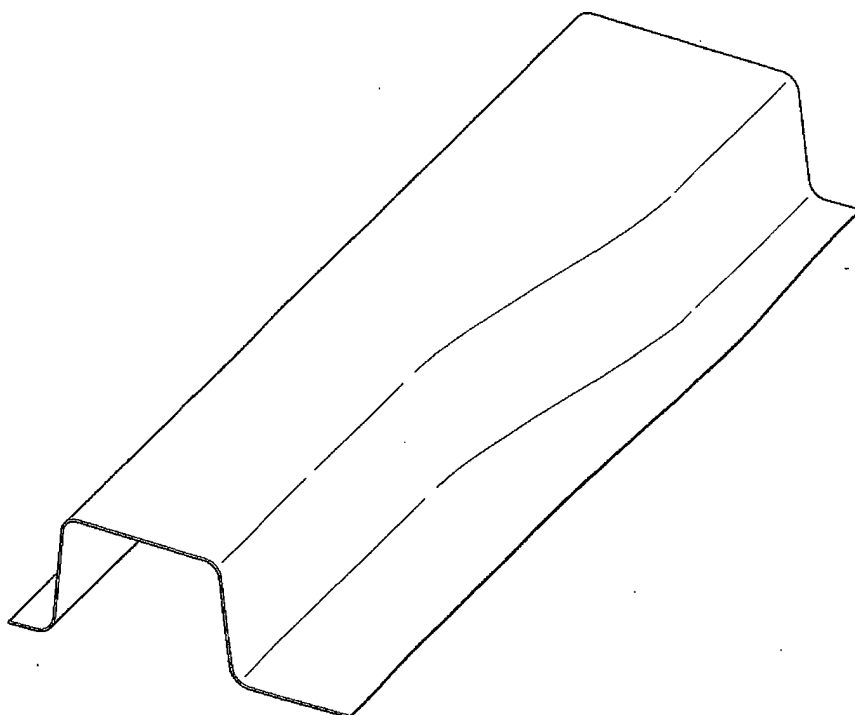


FIG. 5

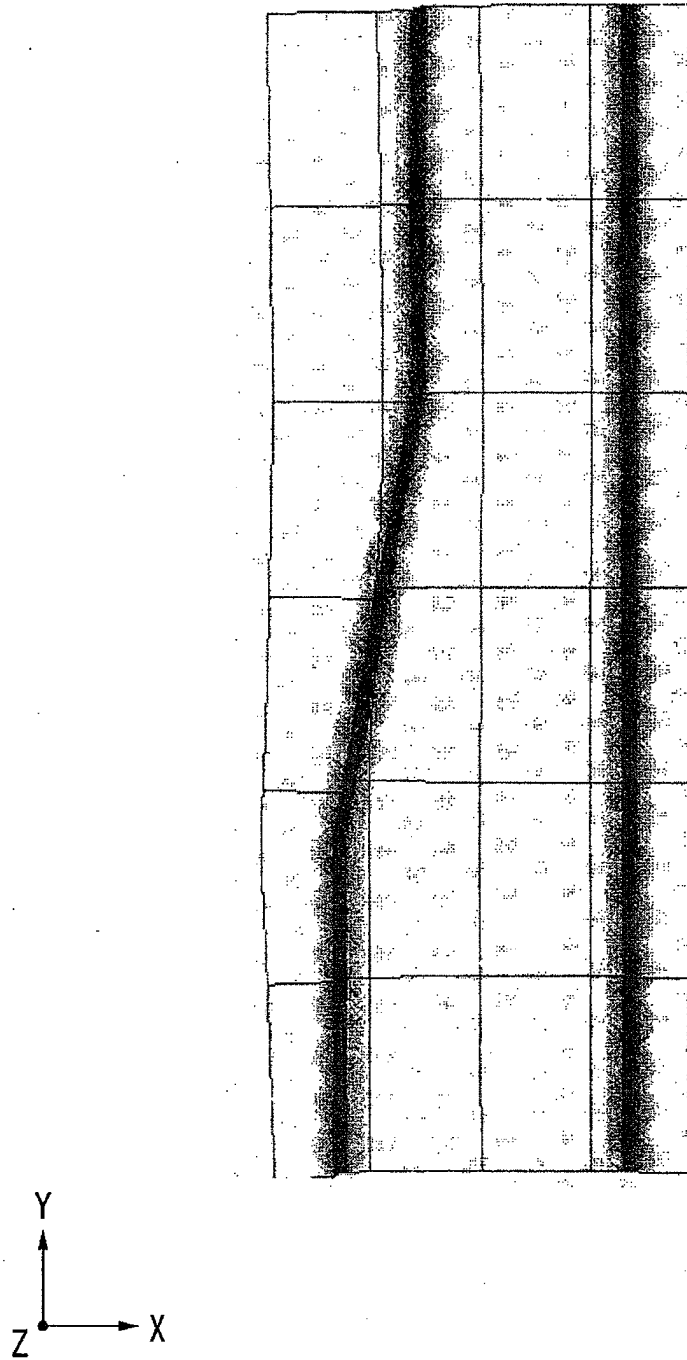


FIG. 6

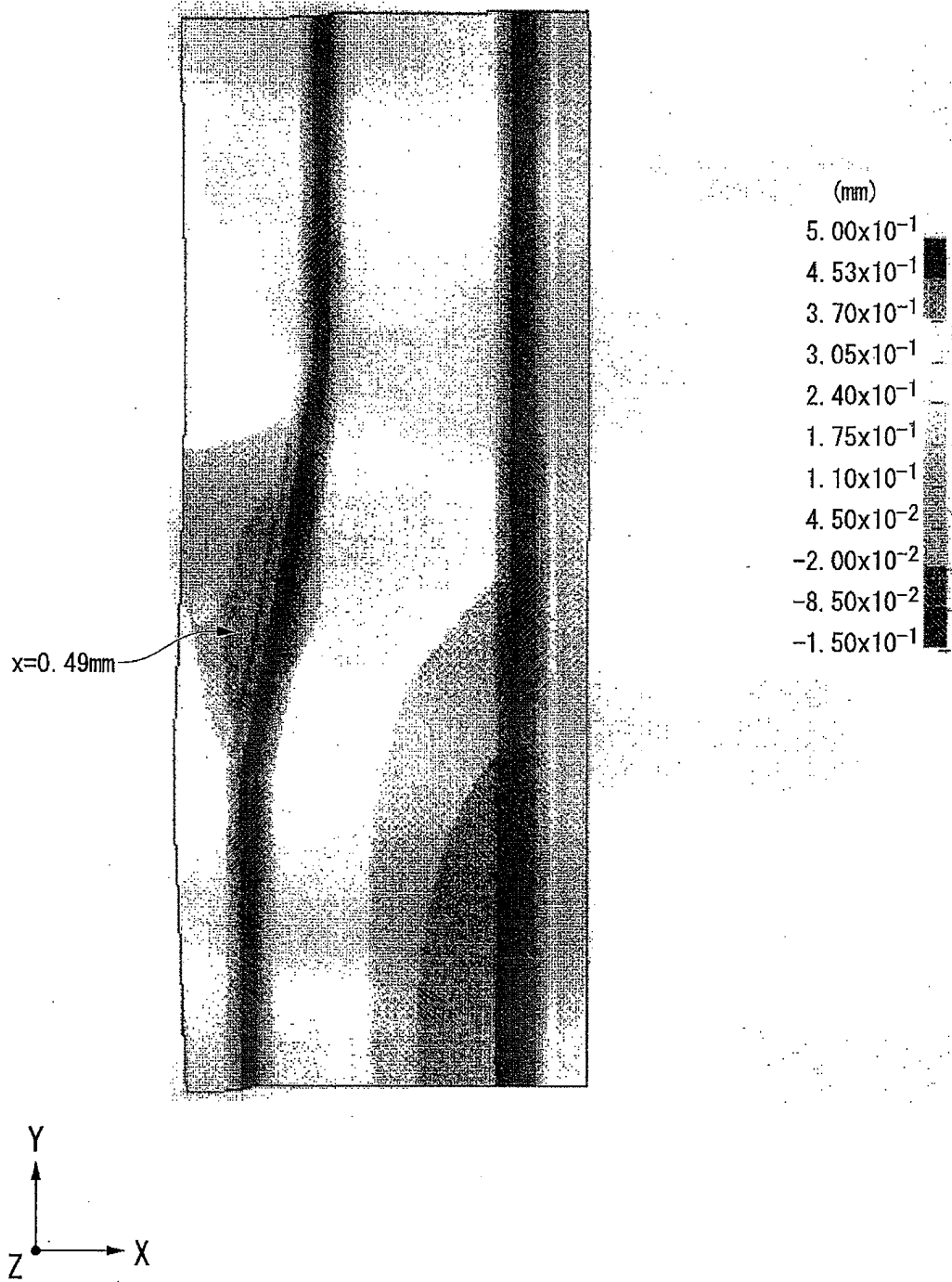


FIG. 7A

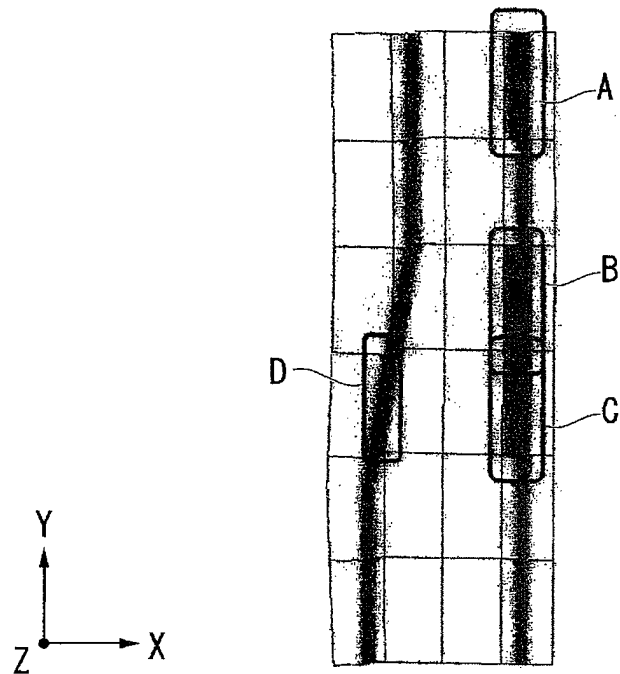


FIG. 7B

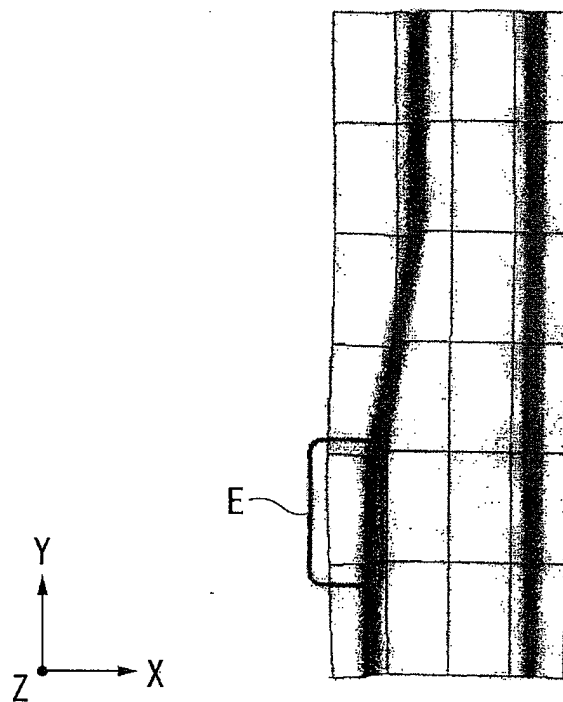


FIG. 8A

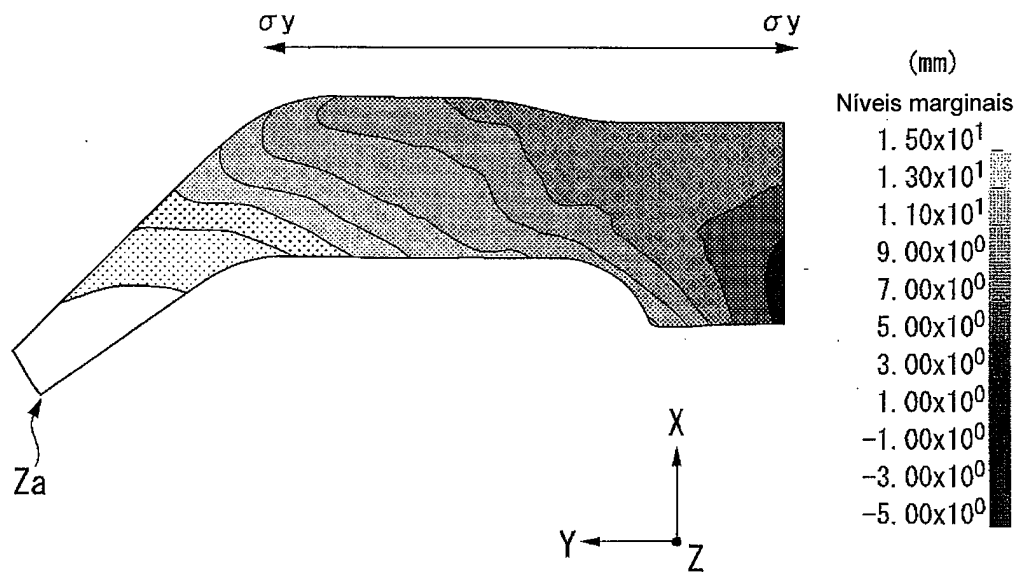


FIG. 8B

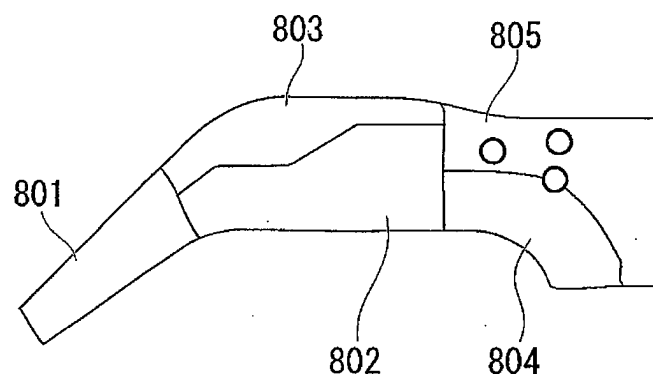


FIG. 9A

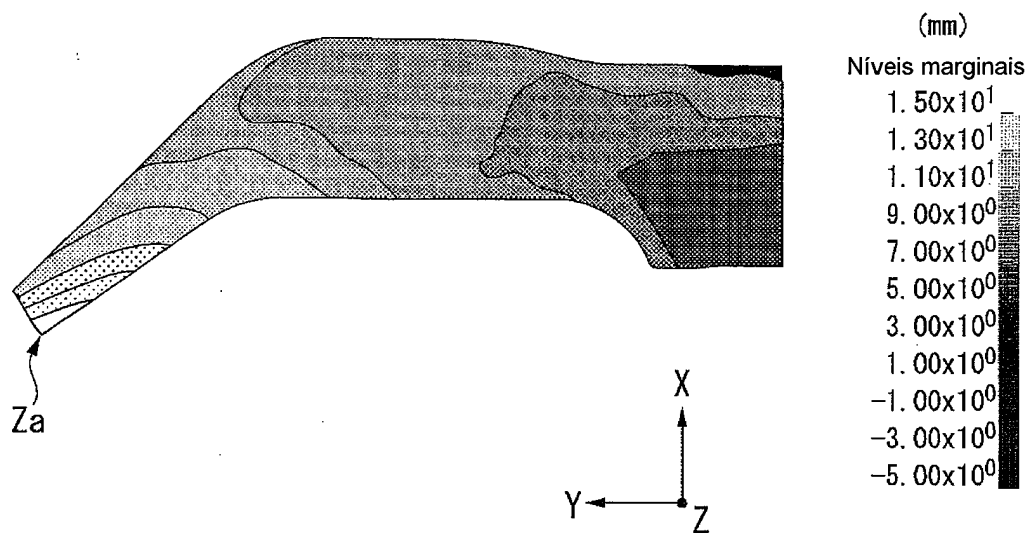


FIG. 9B

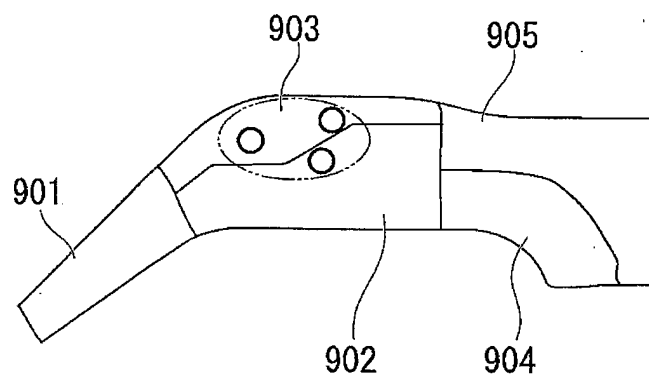


FIG. 10

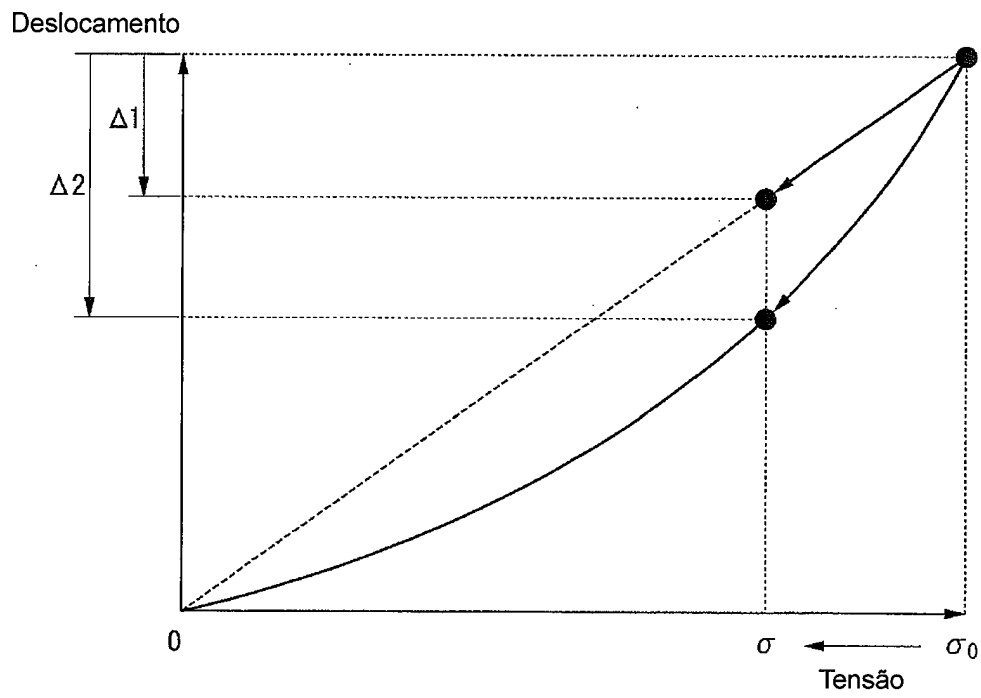


FIG. 11A

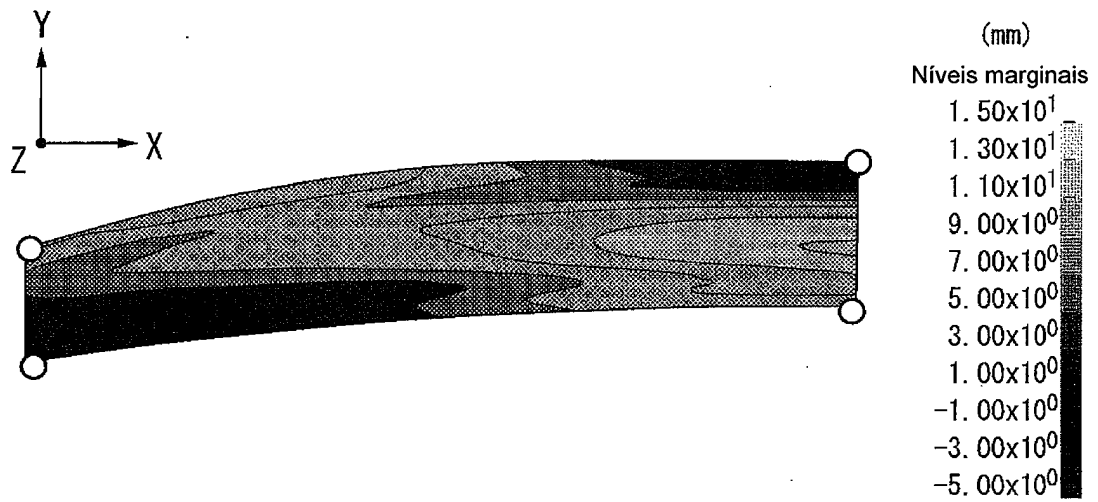


FIG. 11B

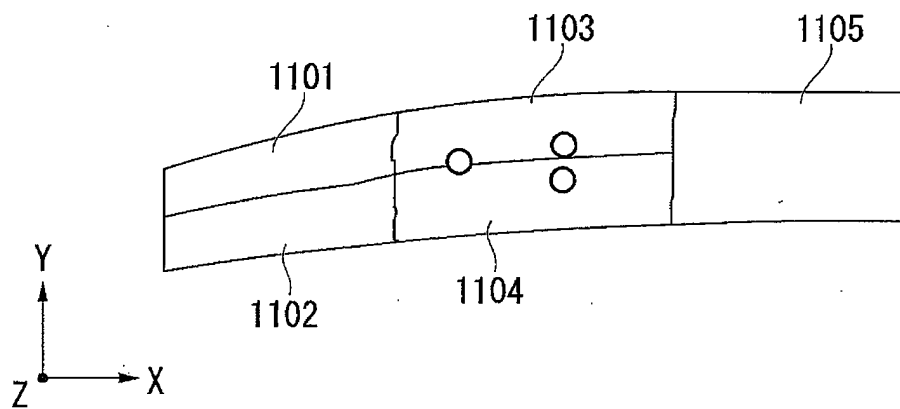


FIG. 11C

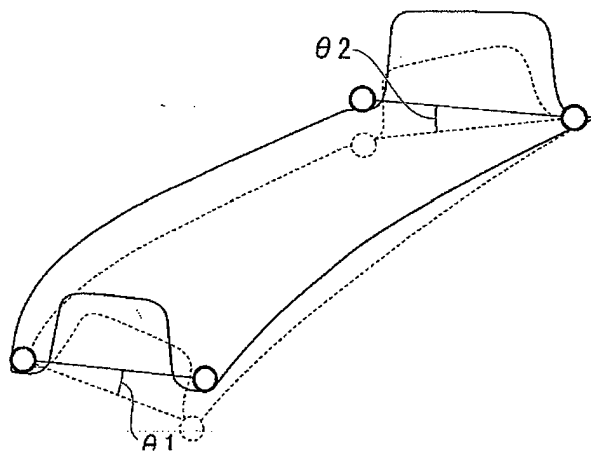


FIG. 12A

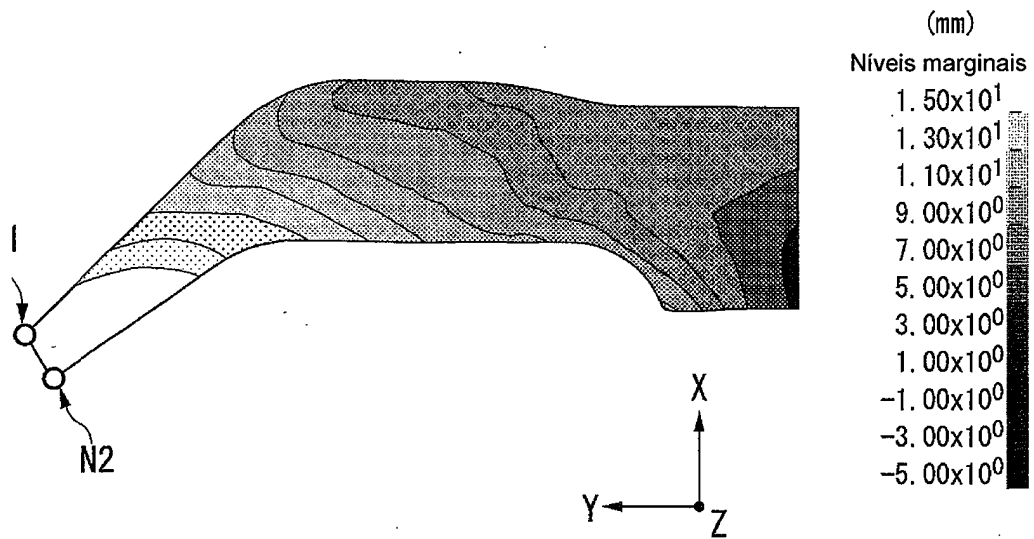


FIG. 12B

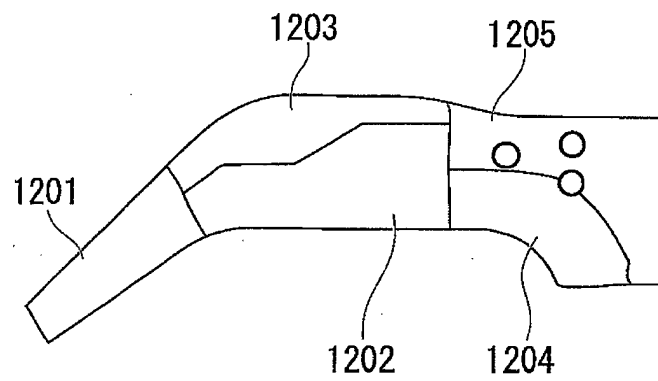


FIG. 13A

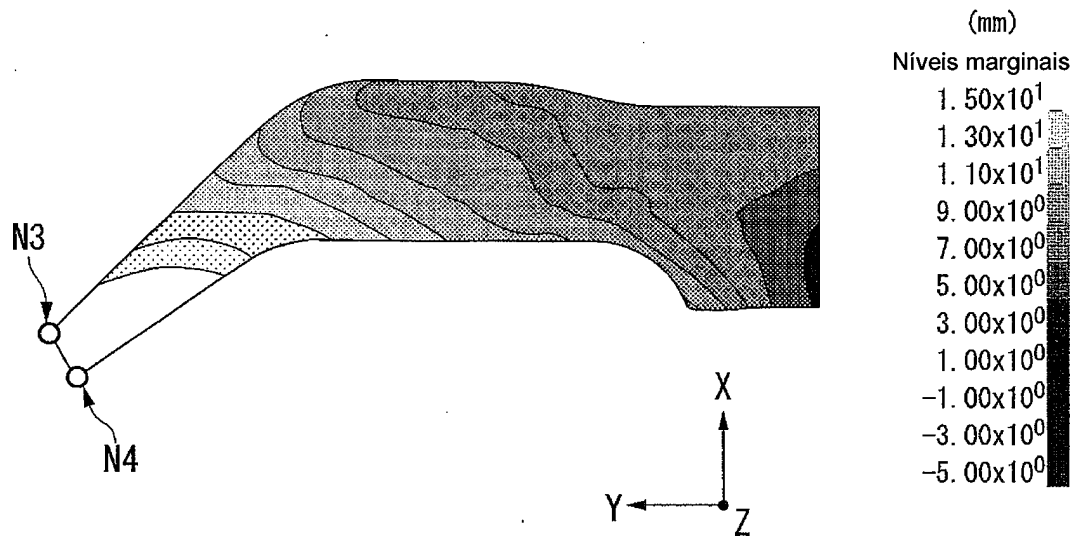


FIG. 13B

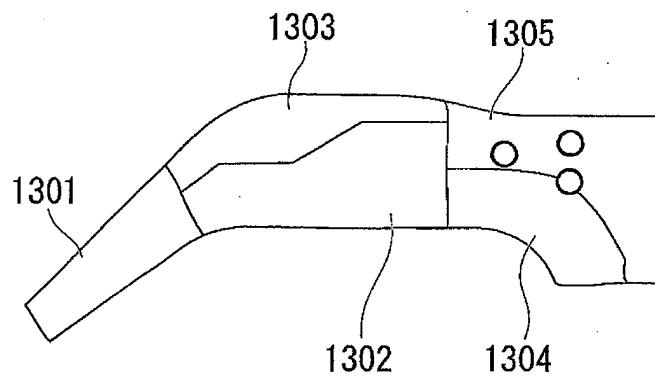


FIG. 14A

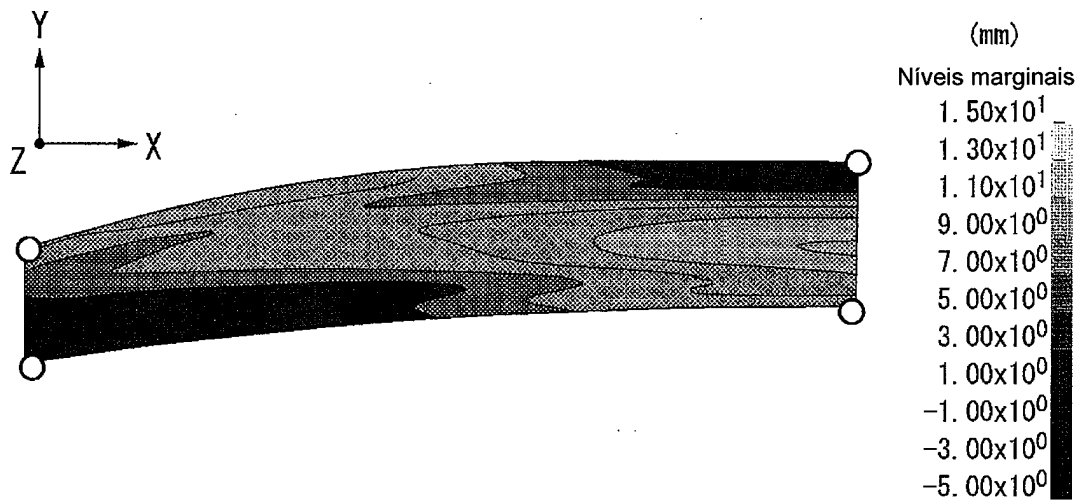


FIG. 14B

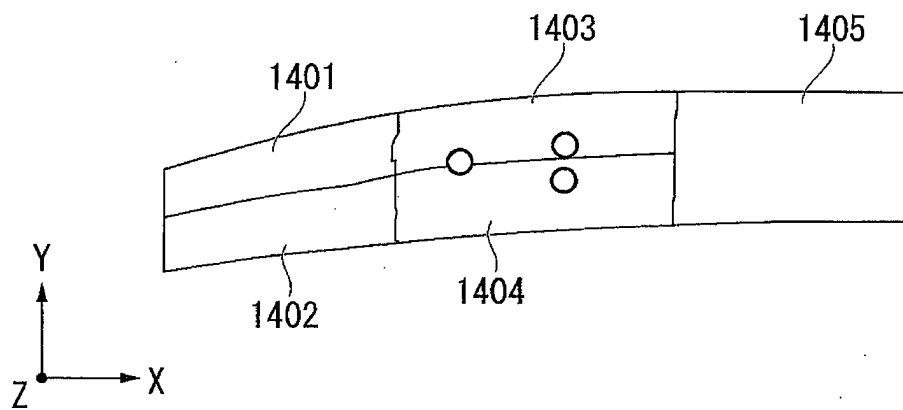


FIG. 14C

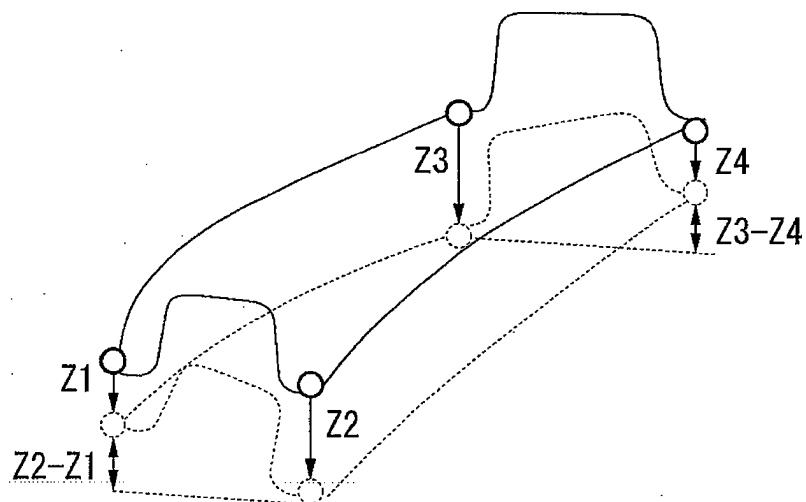


FIG. 15A

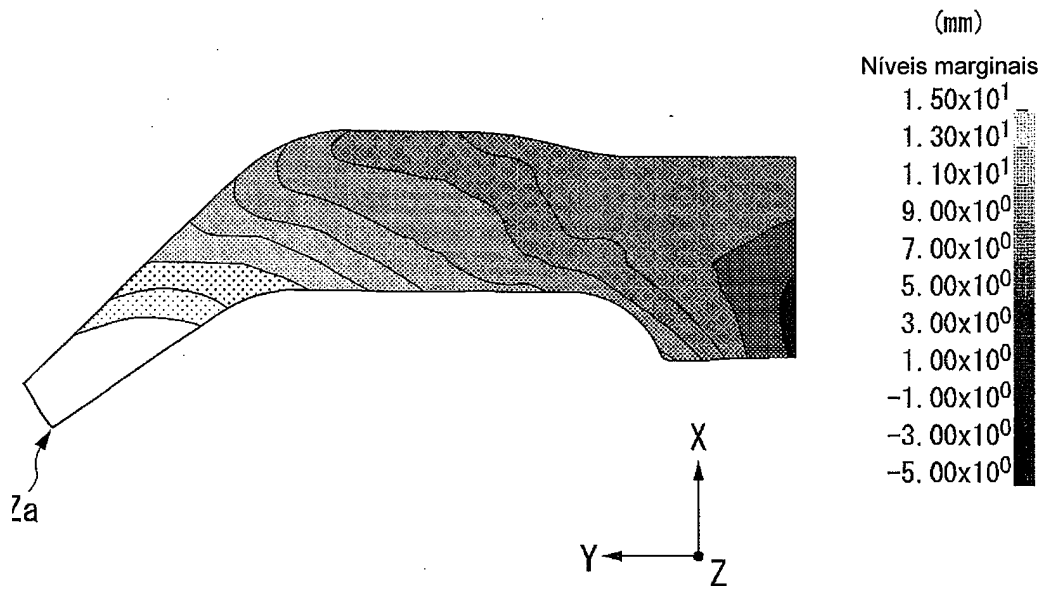


FIG. 15B

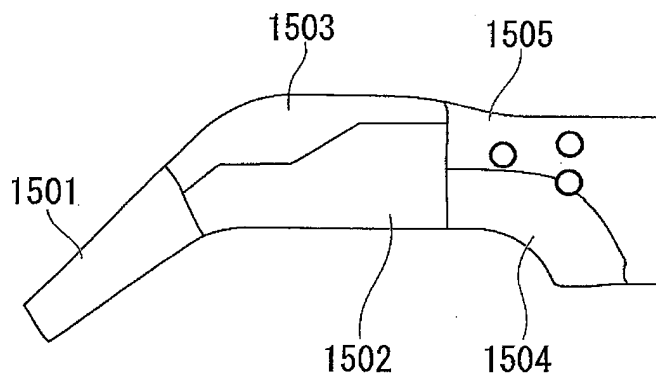


FIG. 16A

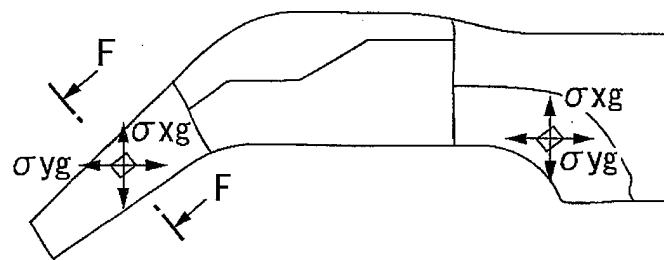


FIG. 16B

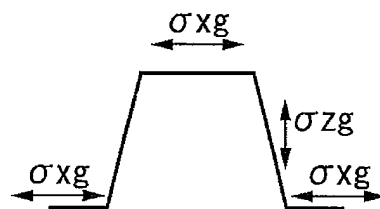


FIG. 17A

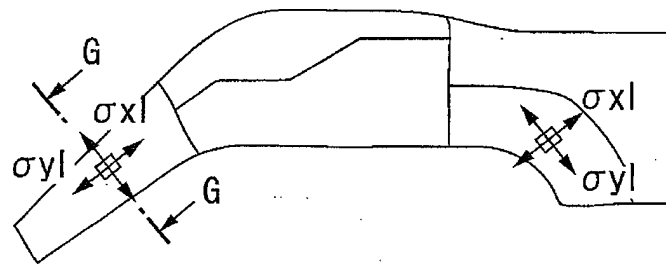


FIG. 17B

