

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

(21) **MU8801488-6 U2**



* B R M U 8 8 0 1 4 8 8 U 2 *

(22) Data de Depósito: 03/04/2008
(43) Data da Publicação: 03/08/2010
(RPI 2065)

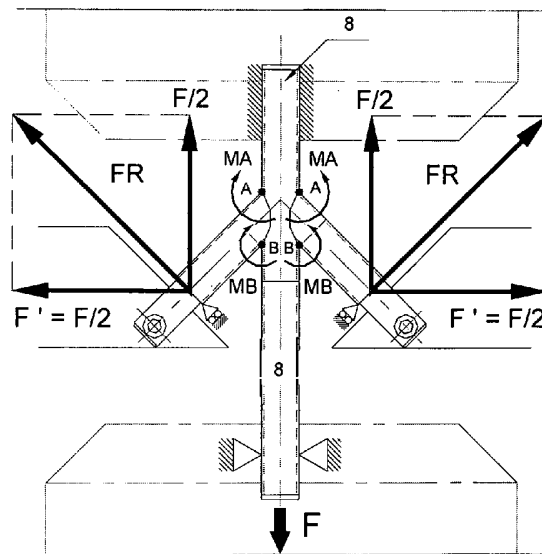
(51) *Int.Cl.:*
G01N 3/62

(54) Título: **CORPOS-DE-PROVA TUBULARES SOLDADOS E RESPECTIVO DISPOSITIVO PARA ENSAIOS DE FADIGA SOB ESFORÇOS CO-PLANARES**

(73) Titular(es): Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho

(72) Inventor(es): Herman Jacobus Cornelis Voorwald, Marcelino Pereira do Nascimento

(57) Resumo: O presente modelo de utilidade refere-se à configuração ou configurações de corpos-de-prova tubulares soldados e um dispositivo desenvolvido para induzir-lhes esforços combinados de tração e flexão a partir dos carregamentos axiais. Os corpos-de-prova são compostos por dois tubos metálicos (1, 2) aos quais são soldados dois tubos diversos (3, 4), posicionados diametralmente opostos e em diversos ângulos, preferencialmente em ângulos múltiplos de 15°. Refere-se ainda a um dispositivo para ensaio, ao qual são acoplados corpos-de-prova, de modo a permitir ensaios de resistência à fadiga sob esforços coplanares. Os braços do corpo-de-prova (8) são montados nos braços (9) do dispositivo. Pinos (10) são encaixados nos braços (9) e fixados. Na sequência, os pinos (10), fixados aos braços (9), são introduzidos um em cada braço do corpo-de-prova (8), num sistema de ajuste com folga.





CORPOS-DE-PROVA TUBULARES SOLDADOS E RESPECTIVO DISPOSITIVO PARA ENSAIOS DE FADIGA SOB ESFORÇOS COPLANARES

O presente modelo de utilidade refere-se à configuração
5 ou configurações de corpos-de-prova tubulares soldados, não abrangidos
por normas técnicas, e um dispositivo desenvolvido para induzir-lhes
esforços combinados de tração e flexão a partir dos carregamentos
axiais aplicados por qualquer máquina de ensaios dinâmicos que
possuam tal limitação, de forma a se obterem resultados mais realistas
10 em relação ao comportamento em fadiga de estruturas geometricamente
complexas. Os corpos-de-prova, confeccionados em materiais ferrosos
ou não, podem ter seção transversal circular, quadrada, ou outra ainda,
podendo ser provenientes de processos de conformação como trefilação,
extrusão, forja, fundição, soldados ou não, bem como dimensões
15 variadas conforme a capacidade do equipamento de ensaios utilizado.

Estruturas tubulares circulares/redondas são comumente
empregadas em plataformas *offshore*, torres em geral, pontes, “berços
de motores” de aeronaves, entre outros, em função de sua boa rigidez
(módulos de resistências à flexão e à torção); boa aparência; superfície
20 mínima para ataque corrosivo; baixa relação peso/resistência mecânica;
baixo coeficiente de arraste; menores forças hidrodinâmicas (estruturas
submersas) etc. No entanto, estruturas tubulares comumente envolvem
junções por soldagem, as quais concentram altas tensões (*hot spot
stress concentration factor – HSS*), difíceis de serem determinadas em
25 decorrência das variações geométricas do cordão de solda, aliadas à
possível existência de defeitos inerentes ao processo. Em adição, estas
estruturas são submetidas a esforços cíclicos combinados, normalmente
axiais e de flexão, resultando em fratura prematura por fadiga. Desta
forma, as curvas $\sigma \times N$ (tensão vs. número de ciclos) são amplamente

empregadas na análise da integridade estrutural de estruturas soldadas, principalmente por dispensarem a necessidade de modelagens complexas e refinadas, permitindo que o “fator concentração de tensão” e o “fator entalhe de fadiga”, induzidos pela geometria da solda, fiquem embutidos na curva. Por outro lado, os resultados dos ensaios laboratoriais de fadiga em corpos-de-prova planos claramente diferem daqueles tubulares dificultando, assim, uma análise segura. O dispositivo apresentado aqui, portanto, vem ao encontro desta necessidade e seu desenvolvimento foi motivado pela geometria complexa do componente “berço de motor” de aeronaves, especificamente, o qual é considerado crítico à segurança de vôo.

Juntas soldadas podem ter sua resistência à fadiga avaliada, como em US2008/0028866. No entanto, o ensaio prevê apenas um modo de esforço.

Em PI0400440-0 é apresentada uma máquina universal de ensaios mecânicos capaz também de realizar ensaios de fadiga. No entanto, com a configuração apresentada, não é possível a realização de ensaios com esforços combinados de tração e flexão.

Resistência à fadiga em torção pode ser determinada nos termos do documento JP2007107955, mas novamente apenas neste modo de esforço.

Ensaio laboratoriais de fadiga revelam essencialmente os efeitos dos processos de fabricação e da microestrutura do material, da razão e do modo de carregamento (tração-tração, tração-compressão, flexão, torção etc.), particularmente do tamanho e da geometria do corpo-de-prova, nos resultados experimentais obtidos, tornando-se uma questão em aberto no que tange a transferência de tais resultados laboratoriais para o comportamento de um componente real. Neste contexto, as normas nacionais e internacionais existentes não

contemplam os efeitos da geometria de componentes estruturais tubulares e da superposição dos carregamentos nas metodologias empregadas nos ensaios de fadiga, limitando os corpos-de-prova laboratoriais a carregamentos uniaxiais, de flexão pura ou rotativa e torção, tratados isoladamente, bem como a formas geométricas simples, longe de serem representativas de componentes reais. Por um lado, os equipamentos de ensaios biaxiais existentes, além de serem de custo elevado, se restringem à aplicação de carregamentos axiais (tração/compressão) nos eixos X e Y, não incorporando a sobreposição de carregamentos no plano (co-planares) que resultem na combinação dos esforços axiais com momento fletor em um ponto discretizado (*hot spot stress concentration*). Por outro lado, no intuito de suprir esta necessidade, especial ênfase tem sido destinada ao Método por Elementos Finitos na simulação e análise dos carregamentos aplicados em estruturas geometricamente complexas, obtendo-se resultados promissores e de grande aplicação prática. Todavia, não obstante seu crescente desenvolvimento e sua indiscutível contribuição no campo da engenharia, constata-se sua limitação no que tange às alterações geométricas e particularmente microestruturais decorrentes, por exemplo, dos processos de soldagem e re-soldagem (reparos). Conseqüentemente, torna-se necessário o desenvolvimento de metodologias preditivas para a avaliação realista dos efeitos geométricos e microestruturais no comportamento em fadiga de estruturas que incorporem procedimentos adequados, no sentido de transferir os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais para um componente estrutural real, de geometria diversa e adversa, operando sob condições outras de carregamento.

Assim, o sistema proposto aqui vem ao encontro desta necessidade, possibilitando a análise de tais esforços a partir de um

equipamento de ensaios de configuração básica. Suas diversas aplicações exploratórias demonstram a habilidade do dispositivo em fornecer resultados robustos e soluções às dificuldades na análise de uma estrutura de geometria complexa, constituída de tubos soldados em variados ângulos e sob esforços combinados.

Os corpos-de-prova e o dispositivo simulam os esforços atuantes em estruturas tubulares soldadas de geometrias complexas, com mínimo grau de liberdade, cujos comportamentos em fadiga diferem claramente de corpos-de-prova planos, ou mesmo tubulares sem restrições.

O presente modelo de utilidade é mais bem descrito pelas figuras anexadas.

A Figura 1 são desenhos das configurações simples dos corpos-de-prova tubulares soldadas, com braços posicionados nas angulações de 45° , 60° e 90° , os quais podem ser posicionados em ângulos outros, múltiplos de 15° , combinados entre si, gerando outras configurações.

A Figura 2 evidencia desenhos de configurações duplas dos corpos-de-prova, nos quais são soldados quatro tubos em angulações diversas.

A Figura 3 mostra um corpo-de-prova simples, nos quais são inseridos tarugos em suas extremidades longitudinais para serem encaixadas em máquinas de ensaio. Estes tarugos são utilizados tanto em corpos-de-prova simples quanto duplos.

A Figura 4 é uma imagem digital de um corpo-de-prova de configuração simples encaixado nos braços que são acoplados à máquina de ensaio.

A Figura 5 é uma imagem digital da montagem do corpo-de-prova no dispositivo-padrão de ensaio, o qual encontra-se acoplado

em uma máquina de ensaios universal.

A Figura 6 é um desenho da montagem do dispositivo-múltiplo para ensaios de fadiga co-planares, o qual admite variadas configurações de corpos-de-prova, como os apresentados na Figura 2..

5 A Figura 7 é um desenho da montagem do corpo-de-prova tubular soldado, com braços a 90° , no dispositivo-múltiplo para ensaios de fadiga co-planares.

10 A Figura 8 é um desenho da montagem do corpo-de-prova tubular soldado, com braços a 15° , no dispositivo-múltiplo para ensaios de fadiga co-planares.

A Figura 9 é um desenho da montagem do corpo-de-prova tubular soldado, com braços a 30° , no dispositivo-múltiplo para ensaios de fadiga co-planares.

15 A Figura 10 é um desenho da montagem do corpo-de-prova tubular soldado, com braços a 45° , no dispositivo-múltiplo para ensaios de fadiga co-planares.

A Figura 11 é um desenho da montagem do corpo-de-prova tubular soldado assimétrico, com braços a 30° e 90° , no dispositivo-múltiplo.

20 A Figura 12 é um desenho da montagem do corpo-de-prova tubular soldado duplo, com braços simétricos a 45° , no dispositivo-múltiplo.

25 A Figura 13 é um desenho da montagem do corpo-de-prova tubular soldado duplo, com braços inferiores a 45° e braços superiores a 30° no dispositivo-múltiplo.

A Figura 14 é um desenho com o diagrama das forças atuantes no corpo-de-prova com braços soldados a 45° , resultantes das restrições impostas pelo dispositivo (padrão e múltiplo).

A Figura 15 apresenta uma opção para confecção da

abraçadeira (17) de fixação do dispositivo-múltiplo na coluna do equipamento de ensaios, e o braço (18) correspondente.

A Figura 16 apresenta outra opção para confecção da abraçadeira (17) de fixação do dispositivo-múltiplo na coluna do equipamento de ensaios, e o braço (18) correspondente.

A Figura 17, A, apresenta detalhe alternativo de usinagem do terminal do braço (18), tipo catraca, bem como do pino (10), com apenas uma furação e rasgo em ângulo, específico para esta condição (Figura 17, B).

A Figura 18 apresenta detalhe do pino (18), típico para o dispositivo-múltiplo descrito nas Figuras 6 a 13.

A Figura 19 é um gráfico de tensão em função do número de ciclos, demonstrando os resultados dos ensaios de fadiga em corpos-de-prova tubulares simples com o dispositivo-padrão.

Nas disposições preferidas de corpo-de-prova para ensaios de fadiga sob esforços co-planares (FIG. 1) dois tubos metálicos (1, 2), de mesma seção transversal circular, retangular ou quadrada, com ou sem costura, de mesmo comprimento ou não, são soldados entre si, formando um único corpo. A seguir, dois tubos (3, 4), com características iguais entre si e posicionados diametralmente opostos, são soldados ao corpo formado pela junção dos tubos (1) e (2). A relação entre o comprimento do corpo central (5) e o comprimento dos tubos soldados (3, 4) dependerá da distância (abertura) máxima entre os *grips* do equipamento de ensaios, bem como da configuração do corpo-de-prova utilizado (simples ou duplo). Estes (3, 4) podem ser soldados ao tubo (1, 2) em diversos ângulos (FIG. 2), iguais entre si ou não, mas preferencialmente em ângulos múltiplos de 15°, como demonstrado na FIG. 1, A (45°), FIG. 1, B (60°) e FIG. 1, C (90°).

Ainda, o corpo-de-prova pode ser duplo, ou seja, ter

quatro tubos metálicos (FIG. 2, A à H) soldados ao corpo central (5), com angulações diversas, mas preferencialmente em combinações múltiplas de 15°, como ilustrado na FIG. 2, A (45°), FIG. 2, E (60°) e FIG. 2, G (90°).

5 Nas extremidades do corpo central são introduzidos tarugos (FIG. 3, 6 e 7) para permitir a fixação do corpo-de-prova pelos *grips* da máquina de ensaios.

O presente modelo de utilidade refere-se ainda ao dispositivo-padrão ao qual é acoplado o corpo-de-prova (FIG. 4), de modo a permitir ensaios de resistência à fadiga sob esforços co-planares. Os braços do corpo-de-prova (8) são montados nos braços (9) do dispositivo. Pinos (10) são encaixados nos braços (9) e fixados (15). Na seqüência, os pinos (10), fixados aos braços (9), são introduzidos um em cada braço do corpo-de-prova (8), num sistema de ajuste com folga.

15 O dispositivo instalado para ensaio, padrão ou múltiplo, é composto ainda por no mínimo os seguintes itens (FIG. 5):

- braços ou prolongadores (9), cuja configuração do chanfro será determinada pelo tipo de corpo-de-prova tubular utilizado (e.g. 45°, 60° ou 90°) e com oblongos na extremidade oposta (de fixação nas abraçadeiras (11)) para ajuste no posicionamento e fixação do corpo-de-prova (8);

- pinos (10) para introdução nos tubos laterais do corpo-de-prova (8), num sistema de ajuste com folga, contendo pequeno movimento de articulação (aproximadamente 5°) em torno do parafuso de fixação (5) para permitir melhor acomodação de todo o conjunto após pré-carga de 100 N;

- abraçadeiras (11) para fixação do conjunto nas colunas do equipamento;

- parafusos, porcas e arruelas de pressão (12),

utilizados na fixação dos braços (9) e das abraçadeiras (11);

- apoios verticais (13), para melhor direcionamento dos esforços aplicados e alívio nas colunas laterais do equipamento.

O dispositivo-múltiplo ao qual os corpos-de-prova são acoplados é explicado adicionalmente pelas Figuras 6 a 13 e 15 a 18. A Figura 6 ilustra a montagem do conjunto corpo-de-prova/dispositivo na estrutura do equipamento de ensaios dinâmicos. Observa-se que o processo de montagem é o mesmo utilizado no dispositivo-padrão (protótipo), apresentado anteriormente, porém compreendendo: abraçadeiras (17) para fixação do conjunto, através de parafusos, porcas e arruelas de pressão (12) nas colunas do equipamento de ensaios (14); braços (18), presos pelas abraçadeiras (17) por meio de parafusos, porcas e arruelas de pressão (12) e contendo oblongos para ajuste na montagem do corpo-de-prova (8), posicionado na extremidade oposta; pino (10) com ranhura, para encaixe no braço (17), fixação por meio de parafuso, porca e arruela de pressão (15) e introdução no braço do corpo-de-prova tubular. Neste caso, a maior área de contato das abraçadeiras (17) nas colunas do equipamento de ensaios dispensa os apoios (13) utilizados no dispositivo-padrão (protótipo).

Os corpos-de-prova podem ser acoplados ao dispositivo tendo seus braços dispostos a 90° (FIG. 7), 15° (FIG. 8), 30° (FIG. 9), 45° (FIG. 10), ou ainda com ângulos diversos entre si, como na FIG. 11, a qual demonstra um corpo-de-prova cujos braços estão dispostos a 30° e a 90° , respectivamente.

Caso os corpos-de-prova a serem acoplados sejam duplos, conforme demonstrado na FIG. 2, A à H, a montagem deverá ser realizada através de dois conjuntos de dispositivo, conforme demonstrado nas FIGs. 12 e 13.

O presente modelo de utilidade é ainda explicado pelos

exemplos abaixo, que não o restringe.

A Figura 14 apresenta o esquema das forças atuantes no corpo-de-prova tubular (8) com a utilização dos respectivos dispositivos. Os braços do corpo-de-prova (8) tendem a abrir-se em decorrência das reações $F/2$ e F' (força resultante FR) geradas por meio da restrição imposta pelo dispositivo à carga axial F aplicada pelo equipamento de ensaios. Como resultado, os valores máximos dos momentos fletores ocorrerão nas regiões: superior (ponto A) e inferior (ponto B) da junção dos tubos. Conseqüentemente, os braços do corpo-de-prova tendem a fletir, gerando tensões adicionais trativas no ponto B, e compressivas no ponto A.

A Figura 19 apresenta os resultados dos ensaios de fadiga realizados com e sem o dispositivo protótipo desenvolvido. Em adição, foram ensaiados corpos-de-prova tubulares lisos (sem braços), porém contendo cordão de solda localizado na metade de seu comprimento e, portanto, também submetidos aos concentradores de tensão geométricos e microestruturais induzidos pelo processo de soldagem.

A configuração final do corpo-de-prova foi elaborada de forma a fazer com que os cordões de solda ficassem próximos e interagissem, como de fato ocorre, simulando tensões a que o componente "berço de motor" de aeronaves, crítico à segurança de vôo, é submetido.

Em princípio, observa-se na Figura 19 que de fato as diferentes configurações dos corpos-de-prova tubulares resultaram em distintos comportamentos em fadiga. Isto é, a adição dos braços deu origem a concentração de tensão na região da solda (*crown toe/heel*), comprometendo a resistência à fadiga do material. Na seqüência, observa-se que a aplicação do primeiro retrabalho de solda reduziu ainda mais a resistência à fadiga do aço ABNT 4130. Com a utilização do

dispositivo, observa-se que a redução da resistência à fadiga foi maior, indicando que ocorreu aumento do fator concentração de tensão (*hot spot*) na região de junção dos tubos, em decorrência dos esforços adicionais de flexão no plano do carregamento principal (superposição das tensões axiais e de flexão). Comprova-se, portanto, a eficiência do dispositivo apresentado, na indução de esforços de flexão em superposição aos esforços axiais aplicados pelo equipamento de ensaios. Portanto, pode-se considerar que os esforços de flexão ocorreram no plano dos esforços axiais impostos pelo equipamento de ensaios (*in-plane bending*).

Assim, a configuração do corpo-de-prova tubular (8), associada ao dispositivo desenvolvido, permitiu a aplicação de tensões axiais com momento fletor nas regiões das soldas, induzindo alta concentração de tensão naquele local, ou ponto quente (*hot spot*) como normalmente denominado, tornando o ensaio mais severo e próximo de uma situação "real", de forma que a fratura ocorreu em uma região que parece sofrer a influência de todos os cordões de solda, como mencionado. Com isso, todas as três regiões soldadas parecem ter sido solicitadas, como pretendido.

O presente modelo de utilidade apresenta ditos corpos-de-prova com configurações que simulam o componente "berço de motor" de aeronaves, elaborados no sentido de simular os comportamentos em fadiga de estruturas reais e de geometrias complexas nos ensaios laboratoriais, bem como de um dispositivo de ensaio desenvolvido com o objetivo de absorver as várias configurações possíveis de confecção dos ditos corpos-de-prova. Adicionalmente, o presente modelo de utilidade pode ser utilizado na análise dos efeitos de reparos, seja por remoção ou sobreposição das soldas primárias, seja por aplicação de reforços (*patch-plate/finger-plate reinforcement*) nas junções soldadas. Embora o modelo de

utilidade tenha sido ilustrado com exemplos nos quais corpos-de-prova são específicos, tais exemplos destinam-se a serem típicos do método de operação do aparato, não limitando de maneira alguma o escopo do modelo de utilidade.

REIVINDICAÇÕES

- 5 1. “CORPOS-DE-PROVA TUBULARES SOLDADOS”
caracterizados por serem utilizados em ensaios laboratoriais de
determinação de resistência à fadiga sob esforços combinados de tração
e flexão a partir de carregamentos axiais.
2. “CORPOS-DE-PROVA TUBULARES SOLDADOS”, de
acordo com a reivindicação 1, caracterizados pela geometria que simula
o componente “berço de motor” de aeronaves, e compostos no mínimo
por:
- 10 ▪ dois tubos metálicos (1, 2) de mesma seção transversal
circular, retangular ou quadrada, com ou sem costura, de mesmo
comprimento, soldados entre si por suas extremidades, formando um
único tubo;
- dois tubos metálicos diversos (3, 4), soldados
15 diametralmente opostos ao tubo anteriormente composto, em ângulos
diversos, iguais entre si ou não, mas preferencialmente em ângulos
múltiplos de 15° em relação ao tubo central;
- tarugos de reforço (6, 7) nas extremidades para fixação
nas garras do equipamento de ensaios dinâmicos.
- 20 3. “CORPOS-DE-PROVA TUBULARES SOLDADOS”, de
acordo com a reivindicação 1, caracterizados por apresentarem
configuração dupla (FIG. 2), sendo composta por quatro tubos metálicos
soldados ao corpo central, com angulações diversas, mas
preferencialmente em ângulos múltiplos de 15°.
- 25 4. “DISPOSITIVO PARA ENSAIOS DE FADIGA SOB
ESFORÇOS CO-PLANARES” caracterizado por ser utilizado em ensaios
de determinação de resistência à fadiga, induzindo a esforços
combinados de tração e flexão a partir de carregamentos axiais aplicados

por uma máquina de ensaios dinâmicos.

5. "DISPOSITIVO PARA ENSAIOS DE FADIGA SOB ESFORÇOS CO-PLANARES", de acordo com a reivindicação 4, caracterizado por ser acoplável a máquinas de ensaios dinâmicos.

5 6. "DISPOSITIVO PARA ENSAIOS DE FADIGA SOB ESFORÇOS CO-PLANARES", de acordo com as reivindicações 4 e 5, caracterizado por ter disposição própria para ensaiar corpos-de-prova descritos nas reivindicações 1 a 3.

7. "DISPOSITIVO PARA ENSAIOS DE FADIGA SOB
10 ESFORÇOS CO-PLANARES", de acordo com as reivindicações 4 e 5, caracterizado por ser constituído, no mínimo, pelos seguintes elementos:

▪ braços ou prolongadores (9), cuja configuração do chanfro será determinada pelo tipo de corpo-de-prova tubular utilizado (45°, 60° ou 90°) e com oblongos na extremidade oposta (de fixação nas
15 abraçadeiras 11) para ajuste no posicionamento e fixação do corpo-de-prova (8);

▪ pinos (10) para introdução nos tubos laterais do corpo-de-prova (8), contendo pequeno movimento de articulação (entre 5° e 10°) em torno do parafuso de fixação;

20 ▪ abraçadeiras (11) para fixação do conjunto nas colunas do equipamento;

▪ parafusos, porcas e arruelas de pressão (12), utilizados na fixação dos braços (9) e das abraçadeiras (11).

8. "DISPOSITIVO PARA ENSAIOS DE FADIGA SOB
25 ESFORÇOS CO-PLANARES", de acordo com as reivindicações 4 e 6, caracterizado por ter, ou não, como elementos de suporte, apoios verticais (13).

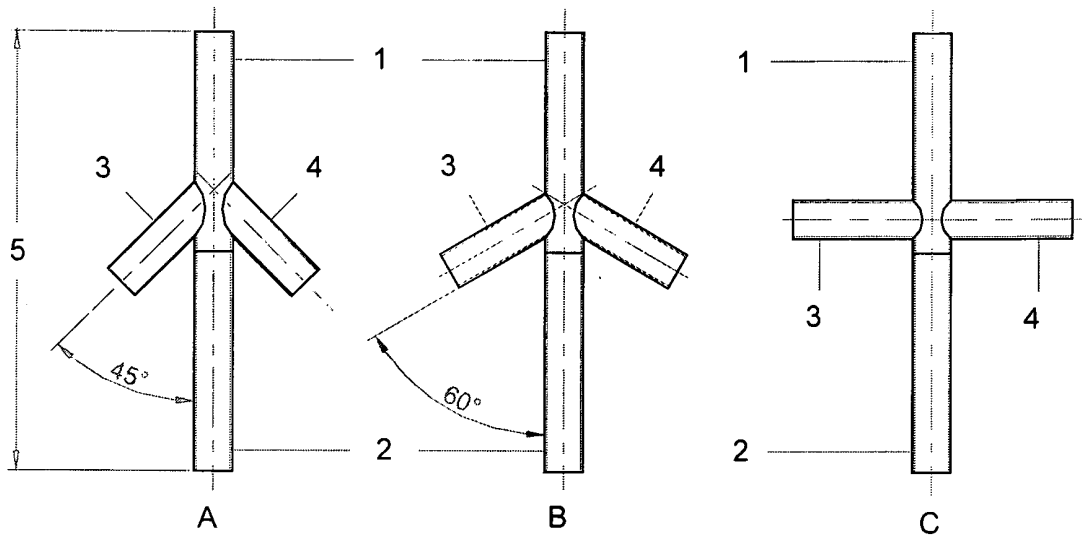


FIG. 1

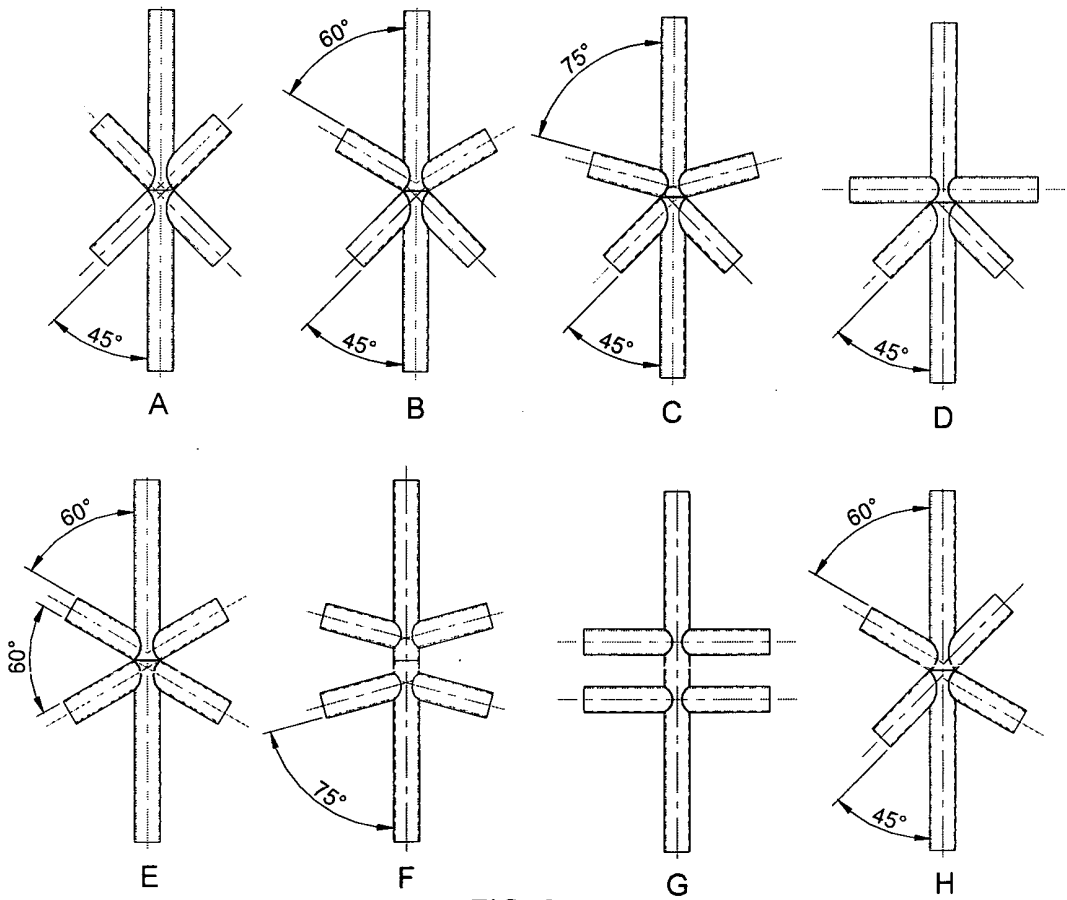


FIG. 2

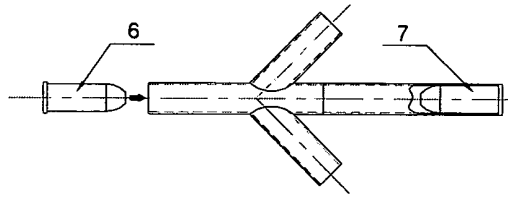


FIG. 3

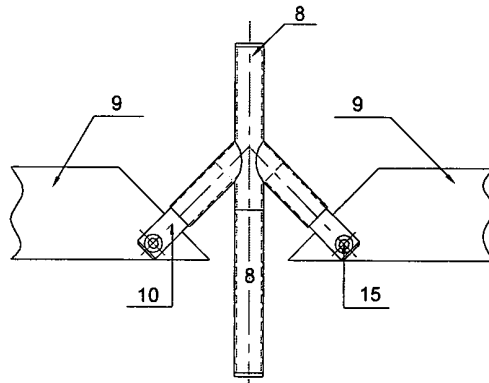


FIG. 4

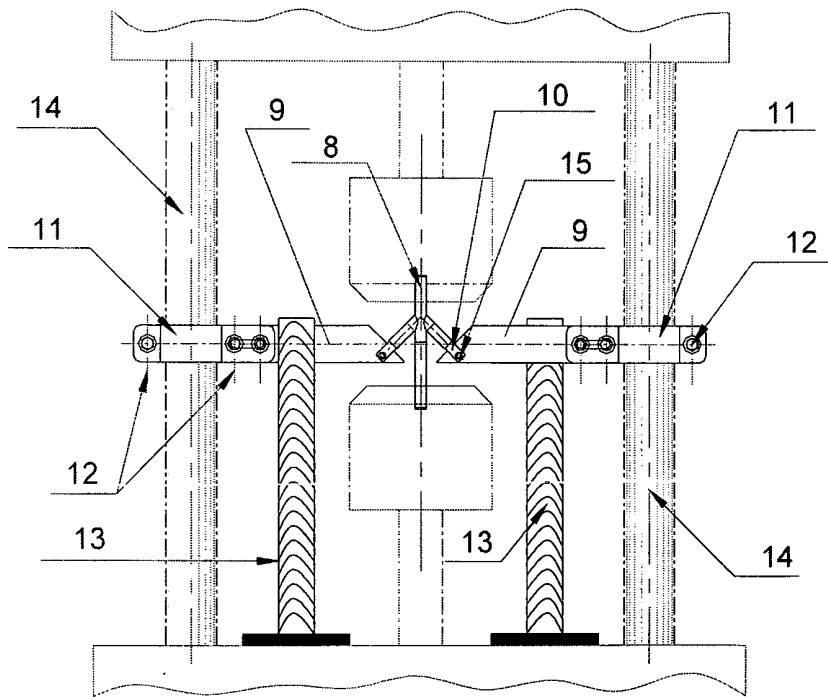


FIG. 5

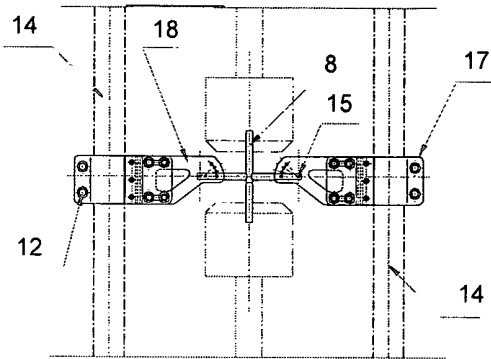


FIG. 6

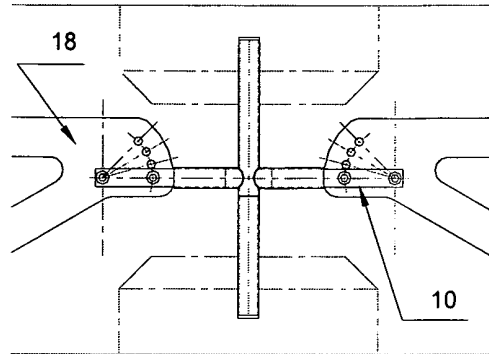


FIG. 7

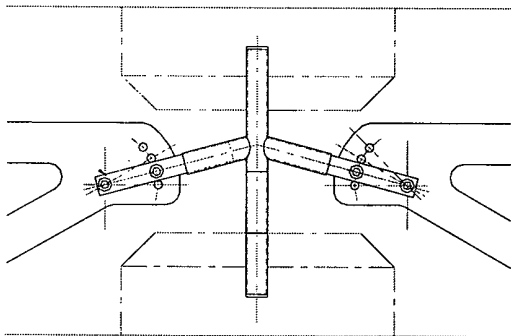


FIG. 8

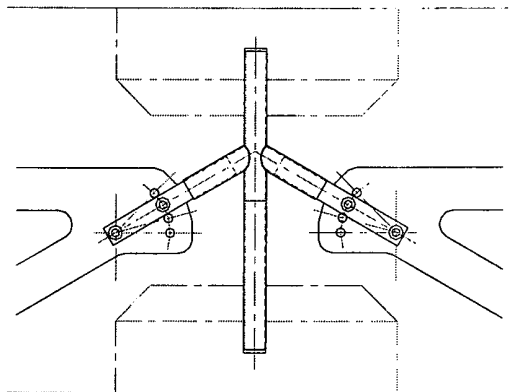


FIG. 9

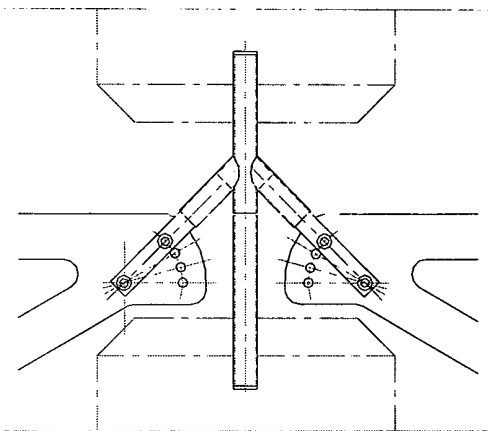


FIG. 10

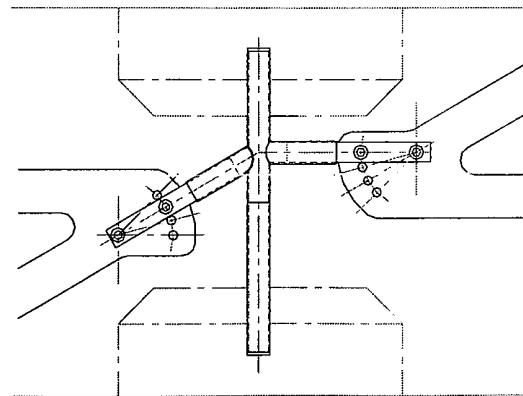


FIG. 11

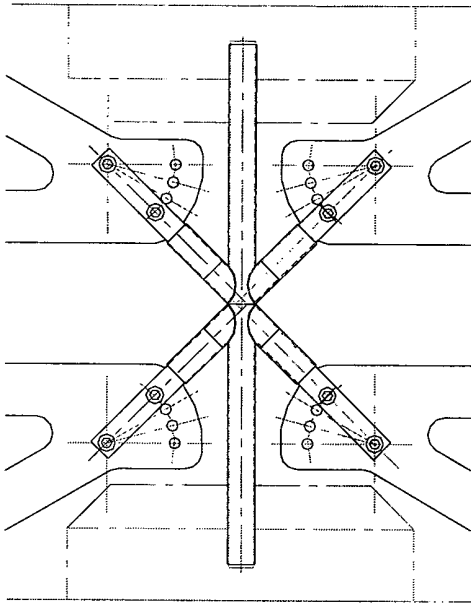


FIG. 12

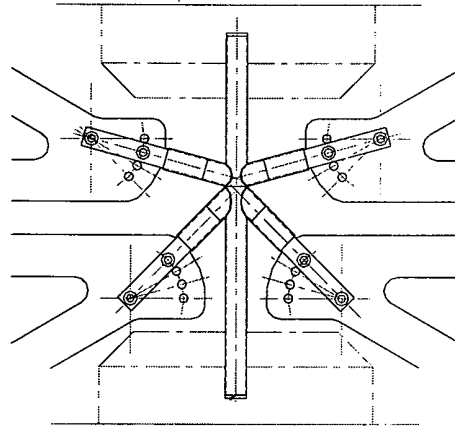


FIG. 13

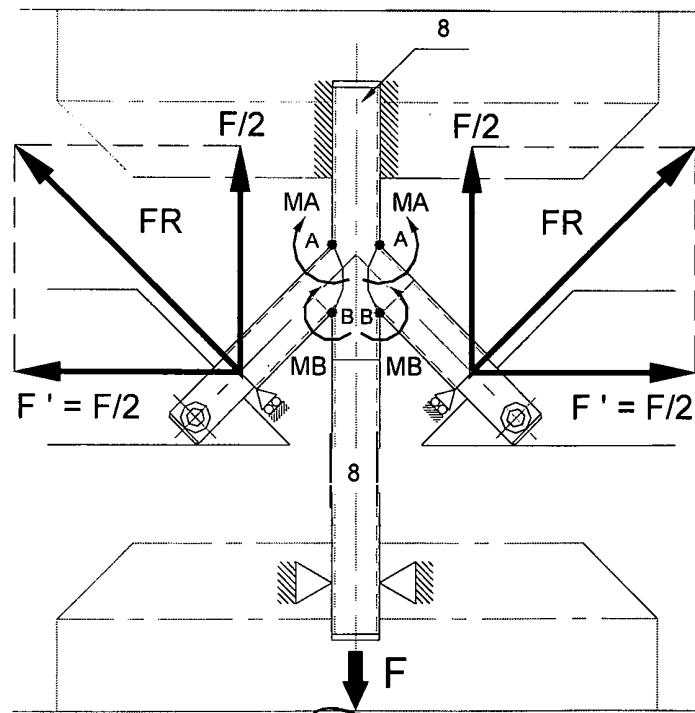


FIG. 14

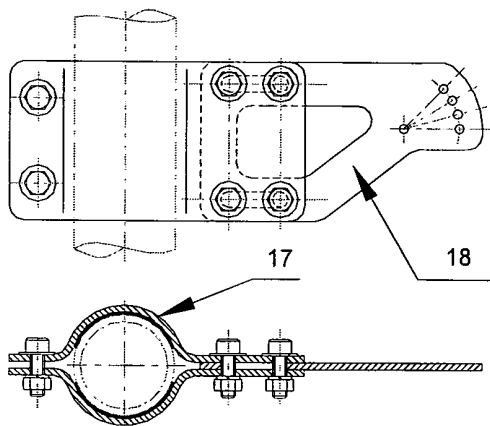


FIG. 15

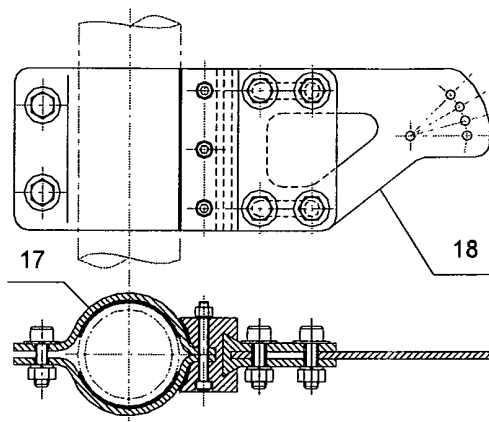
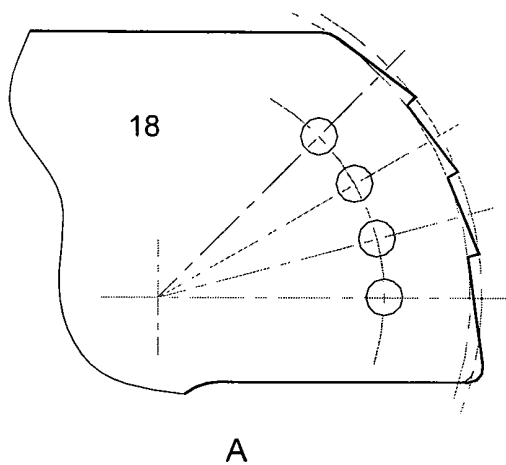
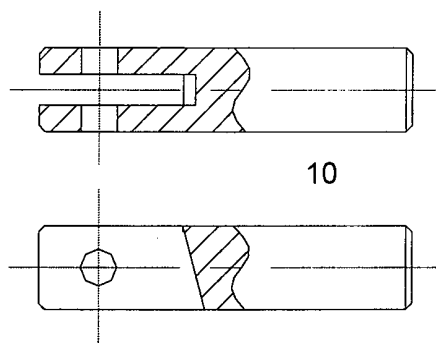


FIG. 16



A



B

FIG. 17

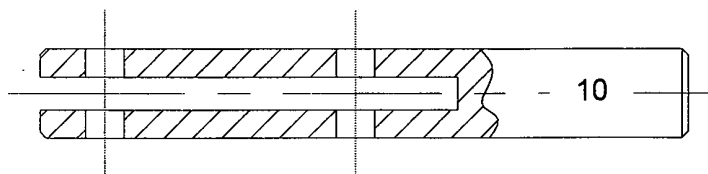


FIG. 18

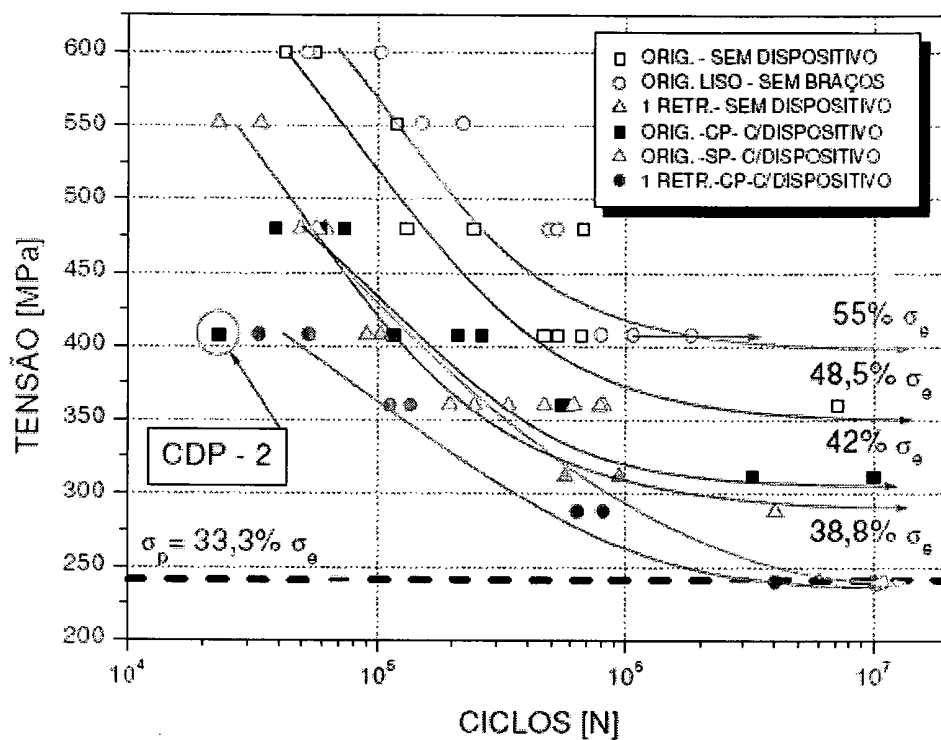


FIG. 19

RESUMO

Patente de Modelo de Utilidade: **“CORPOS-DE-PROVA TUBULARES SOLDADOS E RESPECTIVO DISPOSITIVO PARA ENSAIOS DE FADIGA SOB ESFORÇOS CO-PLANARES”**

5 O presente modelo de utilidade refere-se à configuração ou configurações de corpos-de-prova tubulares soldados e um dispositivo desenvolvido para induzir-lhes esforços combinados de tração e flexão a partir dos carregamentos axiais. Os corpos-de-prova são compostos por dois tubos metálicos (1, 2) aos quais são soldados dois tubos diversos (3, 10 4), posicionados diametralmente opostos e em diversos ângulos; preferencialmente em ângulos múltiplos de 15°. Refere-se ainda a um dispositivo para ensaio, ao qual são acoplados corpos-de-prova, de modo a permitir ensaios de resistência à fadiga sob esforços coplanares. Os braços do corpo-de-prova (8) são montados nos braços (9) do 15 dispositivo. Pinos (10) são encaixados nos braços (9) e fixados. Na seqüência, os pinos (10), fixados aos braços (9), são introduzidos um em cada braço do corpo-de-prova (8), num sistema de ajuste com folga.