



Ensaios Destrutivos e Ensaios Não Destrutivos de Soldadura

Manual de Formação



Ação financiada pela União Europeia.



Ação cofinanciada e gerida pelo Camões, I.P.

Ficha Técnica

Este Manual foi produzido pelo CENFIM – Centro de Formação Profissional da Indústria Metalúrgica e Metalomecânica no âmbito do PROJETO MAIS EMPREGO EM PARCERIA PÚBLICO-PRIVADA PARA O EMPREGO DOS JOVENS EM CABO DELGADO (+EMPREGO) financiado pela União Europeia e implementado pelo Camões, I.P. Instituto da Cooperação.

Título: Ensaaios Destrutivos e Ensaaios não Destrutivos de Soldadura

Autoria: José Guimarães

Este documento foi produzido no âmbito da Acção +EMPREGO EM PARCERIA PÚBLICO-PRIVADA PARA OS JOVENS DE CABO DELGADO (FED/2020/419-736). Nem o Camões, I.P. nem qualquer indivíduo agindo em seu nome é responsável pela utilização que possa ser dada às informações que se seguem. As designações e a apresentação dos materiais e dados usados neste documento não implicam a expressão de qualquer opinião da parte do Camões, I.P., da Cooperação Portuguesa ou do Ministério dos Negócios Estrangeiros de Portugal relativamente ao estatuto jurídico de qualquer país, território, cidade ou zona, ou suas autoridades, bem como a expressão de qualquer opinião relativamente à delimitação das suas fronteiras ou limites. A referência a projetos, programas, produtos, ferramentas ou serviços específicos não implica que estes sejam apoiados ou recomendados pelo Camões, I.P., concedendo-lhes preferência relativamente a outros de natureza semelhante, que não são mencionados ou publicitados. Este documento foi produzido com o apoio financeiro da União Europeia. O seu conteúdo é da exclusiva responsabilidade dos seus autores e não reflete necessariamente a posição da União Europeia.

Índice

1 ENQUADRAMENTO / INTRODUÇÃO.....	5
2 ENSAIOS DESTRUTIVOS	7
2.1 INTRODUÇÃO	7
2.2 TIPOS DE ENSAIOS MECÂNICOS	7
2.3 DEFINIÇÃO DOS ENSAIOS. PROVETES. EQUIPAMENTO	7
2.4 MEDIÇÕES	8
2.5 REALIZAÇÃO DE ENSAIOS	9
3 ENSAIO DE TRAÇÃO.....	10
3.1 ENSAIO DE TRAÇÃO DE METAIS	13
3.2 ENSAIO DE TRACÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS.....	21
4 ENSAIO DE FRATURA.....	23
5 ENSAIO DE DOBRAGEM.....	24
5.1 INTRODUÇÃO	24
5.2 PRINCÍPIO DO ENSAIO	25
5.3 FORMAS DE EXECUÇÃO.....	25
5.4 TIPOS DE DOBRAGENS	28
5.5 APLICAÇÕES.....	29
6 ENSAIO DE DUREZA	29
6.1 INTRODUÇÃO	29
6.2 TIPOS DE ENSAIOS.....	30
6.3 ENSAIO DE DUREZA BRINELL.....	30
6.4 ENSAIO DE DUREZA VICKERS.....	34
6.5 ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL	36
7 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ENERGIA	39

7.1 INTRODUÇÃO	39
7.2 TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO	39
7.3 ENSAIO DE CHARPY	41
8 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS.....	43
8.1 INTRODUÇÃO	43
9 INSPEÇÃO VISUAL.....	44
10 ENSAIO DE ESTANQUICIDADE	47
11 ENSAIO POR LÍQUIDOS PENETRANTES.....	48
11.1 INTRODUÇÃO	48
11.2 AS FASES DO MÉTODO	49
11.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO MÉTODO	52
12 ENSAIO POR MAGNETOSCOPIA.....	52
12.1 DEFINIÇÕES	53
12.2 PRINCÍPIOS DO ENSAIO	54
12.3 FASES DO ENSAIO POR MAGNETOSCOPIA.....	56
13 ENSAIO POR ULTRA-SONS	63
13.1 INTRODUÇÃO	63
13.2 OBJECTIVOS DO ENSAIO.....	63
13.3 PRINCÍPIO FÍSICO DO ENSAIO.....	65
13.4 EQUIPAMENTO DE ULTRA-SONS.....	66
13.5 TIPOS DE SISTEMAS	66
14 ENSAIO RADIOGRÁFICO	70
14.1 INTRODUÇÃO	70
14.2 PRINCÍPIO DO ENSAIO DE RADIOGRAFIA.....	70
14.3 VANTAGENS DA RADIOGRAFIA	71

14.4 LIMITAÇÕES DA RADIOGRAFIA.....	71
15 GLOSSÁRIO	73
16 FONTES BIBLIOGRÁFICAS	74
17 WEBGRAFIA	74

1 ENQUADRAMENTO / INTRODUÇÃO

A União Europeia assinou com o Camões, I.P., em 15 de dezembro de 2020, um Acordo de Contribuição para gestão do projeto “+EMPREGO em parceria público-privada para os jovens de Cabo Delgado”, a qual tem como objetivo global aumentar as oportunidades económicas da população de Cabo Delgado, em particular da sua população jovem, contribuindo para a melhoria do acesso ao trabalho decente e do seu rendimento, em atividades direta ou indiretamente relacionadas com a indústria do gás natural. Pretende, também, estimular parcerias público-privadas com forte impacto no emprego e apoia o setor público da educação profissional e de emprego, as micro, pequenas e médias empresas, visando o aumento da respetiva competitividade e da empregabilidade dos jovens.

A parceria com instituições formadoras de Portugal que foi estabelecida no âmbito do projeto visa, em termos genéricos, assegurar um quadro de cooperação técnica que permita uma intervenção de excelência nos domínios da assistência técnica, formação de formadores multiplicadores e capacitação institucional. Esta cooperação no âmbito permitirá ainda a obtenção, por parte das entidades beneficiárias moçambicanas, de qualificações adequadas e de qualidade e a respetiva sustentabilidade, a promoção de relações de intercâmbio e de colaboração, a inserção em redes internacionais de saber e de investigação e a troca de experiências.

Com os objetivos referidos foi estabelecido um Acordo de Implementação entre o Camões Ip e o CENFIM, Centro que apresenta uma vasta experiência na área da cooperação para o desenvolvimento, nomeadamente em Angola e Moçambique, apresentando condições únicas em termos de equipamentos e recursos humanos através da articulação que estabelece com o Centro de Formação para a Metalomecânica de Maputo (CFPM).

O objetivo essencial do Acordo estabelecido com o Camões IP e o CENFIM é o de assegurar a formação técnica, em domínios especializados e particularmente

relevantes para a indústria do gás natural, de formadores multiplicadores dos parceiros moçambicanos do +EMPREGO.

É neste contexto que surge este Manual de apoio ao Formando da Ação de Formação Técnica de Formadores em Ensaio Destrutivo e Ensaio Não Destrutivo de Soldadura e que foi desenvolvida ao abrigo do Acordo referido, o de permitir aprofundar a aquisição de conhecimentos e competências a adquirir na sala de aula e no laboratório de ensaios de materiais pelos formadores que actuam no âmbito do projeto e melhorar o respetivo desempenho profissional e a sua função de multiplicadores de conhecimentos e de boas práticas formativas.

O que se pretende atingir com este Manual, é o de apresentar os vários e diferentes ensaios de Soldadura, a sua metodologia e aplicações, e dar a conhecer o que permitem detetar e controlar.

Neste âmbito, o Formando desenvolverá competências no conhecimento dos ensaios, nas suas potencialidades de aplicação e também na escolha, do ou dos mais apropriados, tendo em conta o fim em questão.

Ressalvamos que, o objetivo e a abrangência dos conhecimentos e competências constantes deste Manual de Formação, enquadrada nos objetivos da Ação de Formação referida anteriormente, não permite a formação de técnicos especialistas em ensaios destrutivos e não destrutivos.

2 ENSAIOS DESTRUTIVOS

2.1 INTRODUÇÃO

É cada vez maior, a importância dos ensaios mecânicos relativamente à avaliação da qualidade de componentes e estruturas soldadas. Estes testes, permitem obter valiosa informação sobre as características dos materiais usados.

Por sua vez, estas características, normalmente designadas por propriedades mecânicas dos materiais, definem o seu comportamento, quando os materiais são sujeitos a esforços ou cargas. São exemplo destas propriedades, a resistência, a rigidez, a tenacidade, a resiliência e a dureza.

2.2 TIPOS DE ENSAIOS MECÂNICOS

Os exemplos habituais de Ensaaios Mecânicos são os ensaios de tração, de compressão, torção e flexão. No caso especial em que a carga é aplicada instantaneamente (pancada), o ensaio designa-se por “ensaio de choque”, ou de absorção de energia. Existem também ensaios em ambientes húmidos e/ou corrosivos.

2.3 DEFINIÇÃO DOS ENSAIOS. PROVETES. EQUIPAMENTO

Um ensaio de boa qualidade deverá:

- 1) Ter um significado preciso;
- 2) Ser de confiança;
- 3) Ser repetitivo;
- 4) Ter uma precisão conhecida;
- 5) Ser barato.

De modo a salvaguardar tais características, torna-se necessária uma preparação cuidada dos provetes de ensaio. Sempre que possível, deverá recorrer-se a dimensões normalizadas.

Por outro lado, todos os provetes deverão ser marcados antes da execução do programa de ensaio. A seleção de máquinas para os ensaios envolve a ponderação dos quatro pontos seguintes:

- 1) Finalidade do ensaio;
- 2) Precisão necessária;
- 3) Conveniência ou existência no mercado;
- 4) Custos.

2.4 MEDIÇÕES

As medições mais frequentes num laboratório de ensaios mecânicos são as seguintes:

- Comprimentos e Ângulos;
- Volumes e Massas;
- Forças e Pressões;
- Intervalos de tempo;
- Temperaturas;
- Correntes, tensões e resistências elétricas;

Estas medições são efetuadas através de instrumentação adequada, sendo a precisão função do tipo de aparelho utilizado. A precisão de um instrumento está intimamente relacionada com a sensibilidade e o valor da menor escala do aparelho. Maioritariamente, os sistemas elétricos de medição apresentam várias sensibilidades que correspondem a diversos valores de amplificação do sinal. Ao serem efetuadas

medições, deve ter-se sempre presente que a todos os valores, está associada uma determinada precisão. Assim, podem ocorrer dois tipos de erros:

- Erros sistemáticos, provenientes de calibrações menos cuidadas;
- Erros acidentais provenientes, em grande parte, da falta de experiência do técnico.

Se, por um lado, os erros sistemáticos são passíveis de correção, os erros acidentais são de natureza aleatória e, portanto, só controlados quando o programa de ensaios é suficientemente grande de modo a possibilitar um adequado tratamento estatístico.

2.5 REALIZAÇÃO DE ENSAIOS

No momento em que se dá início a um ensaio, uma execução rápida de operações tem que ser levada a cabo pelo experimentador, pelo que se torna necessário uma meticulosa e cuidada preparação de todas as operações.

Existem muitos tipos de ensaios, alguns exigindo grupos de trabalho altamente especializados. Nestes casos, será necessário indicar o responsável pela orientação e coordenação do trabalho, o operador das máquinas, o responsável pelos equipamentos de medida e o especialista no tratamento matemático e na precisão de resultados. Cada uma destas pessoas terá uma função específica, e é do cumprimento rigoroso destas funções que resulta o sucesso do ensaio.

Em ensaios não tão exigentes em meios humanos, todas as funções anteriormente mencionadas poderão ficar a cargo de um único elemento, o qual deverá estar apto a prever e planear todo o ensaio. Seguidamente, são referidas algumas das tarefas mais importantes na realização de ensaios:

- Preparar as folhas de resultados, tendo o cuidado de reservar um espaço para a completa identificação do ensaio;

- Fazer o registo do equipamento utilizado e de qualquer preparação ou adaptação especial;
- Efetuar os cálculos necessários para selecionar as condições de ensaio;
- Certificar as condições de funcionamento da máquina de ensaio. Testar e calibrar a máquina;
- Fazer o registo das condições de ensaio;
- Fazer certificações e registos, tal como foi descrito nos pontos anteriores, relativamente aos aparelhos de medida. Dedicar particular atenção à conversão de unidades;
- Após o ensaio, providenciar para que o local fique arrumado e limpo, e as máquinas de ensaio convenientemente desligadas;
- Nunca esquecer que o ensaio só se pode considerar acabado quando os resultados tiverem sido resumidos, verificados e interpretados.

3 ENSAIO DE TRAÇÃO

Conceito de tensão

Antes de iniciarmos o estudo do ensaio de tração uniaxial, vamos definir as grandezas indispensáveis para a compreensão do ensaio, ou seja, a tensão e a extensão. A tensão é definida como sendo a intensidade de força (uniformemente distribuída) por unidade de área.

A tensão é usualmente medida em MegaPascal [MPa], ou N/mm², podendo, no entanto, ser apresentada noutras unidades. A outra unidade mais utilizada para a tensão é o Kgf/mm². A sua relação com o MegaPascal é idêntica à relação entre o Quilograma e o Newton, isto é, 1 Kgf/mm² = 9,81 MPa.

Consideremos uma barra solicitada por uma ação P:

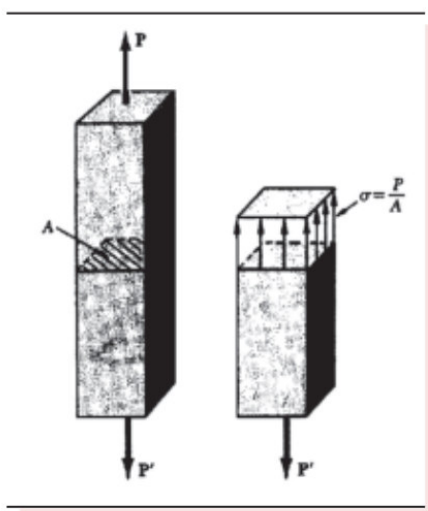


Fig. 1 - Tensão numa barra com secção transversal A, sujeita a uma carga axial P

A tensão nominal aplicada é igual a:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Será utilizado o sinal positivo sempre que se trate de uma tensão de tração (barra à tração) e o sinal negativo para tensões de compressão (barra à compressão).

A tensão de tração resulta de forças exteriores que tendem a aumentar o comprimento e a reduzir a área da secção transversal da referida barra.

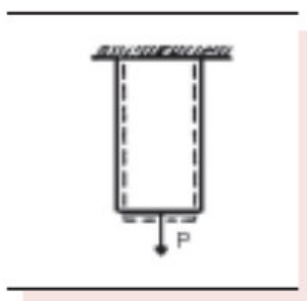


Fig. 2 - Definição de tensão nominal

Além da tensão de tração, existem mais dois estados básicos de tensão:

- a tensão de compressão, resultante das forças que tendem a reduzir o comprimento e aumentar a área da secção transversal;
- a tensão de corte que resulta de forças opostas que tendem a fazer escorregar ou deslizar uma parte do material em relação à outra.

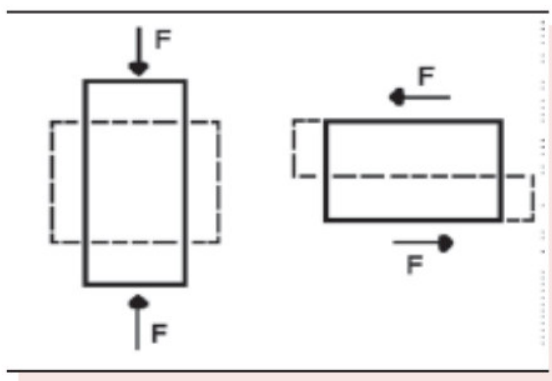


Fig. 3 - Exemplos de tensão de compressão (esq.) e corte (dir.)

Conceito de extensão

Todos os materiais deformam-se quando sujeitos a ações exteriores. O valor dessa deformação depende do tipo de material, das dimensões e do valor das ações.

Existem, fundamentalmente, dois tipos básicos de deformações instantâneas: as elásticas e as plásticas. Apenas as primeiras são completamente recuperáveis. No que diz respeito às plásticas, o material fica deformado, mesmo depois de ser retirada a carga.

A extensão resultante da aplicação das referidas ações é definida pelo quociente entre a deformação que o material sofreu (δL) e o seu comprimento inicial (L_0).

$$\epsilon = \frac{\delta L}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0}$$

3.1 ENSAIO DE TRAÇÃO DE METAIS

Definições importantes

O ensaio consiste em tracionar um provete de um determinado metal até à rotura, tendo como objetivo a determinação de algumas características mecânicas. O ensaio deverá ser efetuado de acordo com as condições definidas pela norma adotada.

Provete

Chama-se provete à amostra de material que é submetida a ensaio (Fig. 4).

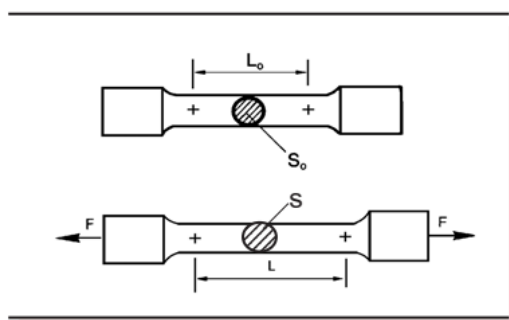


Fig. 4 - Representação esquemática de provetes

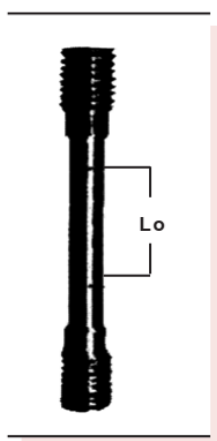


Fig. 5 - Fotografia de um provete

As extremidades dos provetes são constituídas por cabeças as quais permitem a fixação às garras da máquina. Por sua vez, a parte útil do provete, designada "troço entre cabeças", subdivide-se em duas partes: o troço de concordância e o troço de secção constante.

As secções podem ser circulares, quadrangulares ou retangulares. A forma das cabeças de um provete poderá variar em função das garras da máquina, fig. 5 e 6. O provete deve ser proporcional.

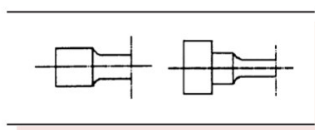


Fig. 6 - Dois exemplos de cabeças de amarração

Descrição do ensaio

O ensaio, tal como já foi referido, consiste em submeter um provete a um esforço axial, uniformemente distribuído pela secção transversal. O provete é fixo aos dois mordentes da máquina pelas extremidades, ligando-se, em seguida, o dispositivo que provoca o esforço de tração. Os sistemas de amarração móveis dos provetes a ensaiar podem ser comandados por sem-fins acionados eletricamente – máquinas eletromecânicas - ou através de um atuador hidráulico - máquinas hidráulicas- tal como mostrado na Fig. 8.

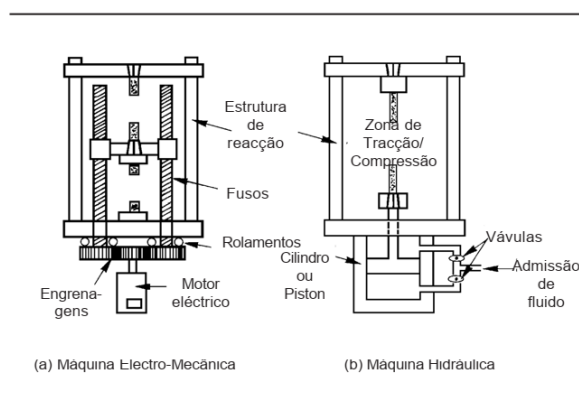


Fig. 8 - Esquema de máquinas universais de ensaio de tração



Fig. 9 - Equipamento para ensaios de tração

Nestas máquinas, existem dois mordentes: um fixo e outro móvel. Deste modo, as deformações obtêm-se diretamente dos deslocamentos do mordente móvel, ou, no caso de ser possível trabalhar com extensões em vez de deformações, estas são medidas através de extensómetros colocados diretamente no provete.

O ensaio prossegue até que o provete rompa. Curvas relativas a ensaios de tração realizados a baixa velocidade e à temperatura ambiente de alguns materiais, revelam que cada material apresenta uma curva típica, desde que a realização do ensaio de tração uniaxial tenha sido efetuado nas condições indicadas pela norma. A figura seguinte apresenta algumas curvas relativas a diferentes metais.

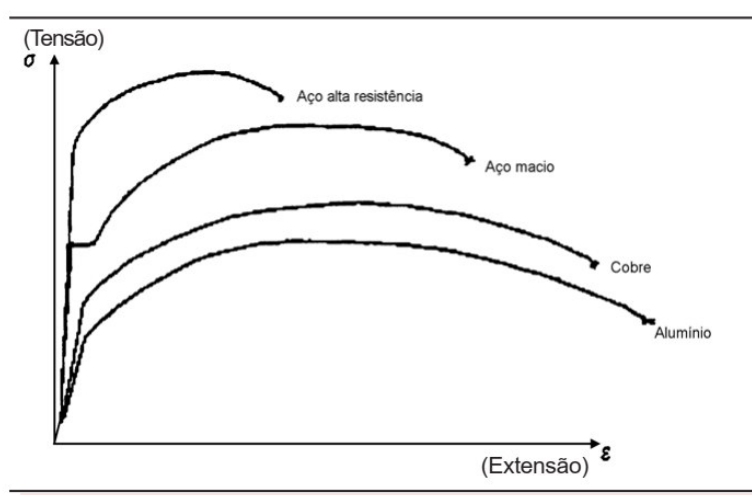


Fig. 11 - Diagrama de ensaio de tração uniaxial

Num material dúctil, a tensão final é inferior à tensão de rotura, devido à diminuição rápida da área da secção reta (efeito de estricção). Esta estricção inicia-se no ponto máximo da curva $\sigma(\epsilon)$.

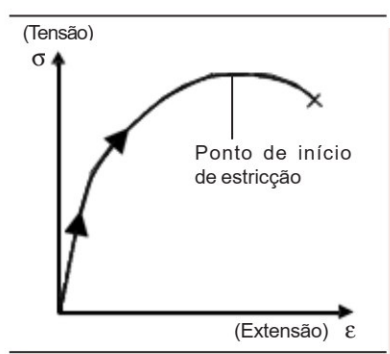


Fig. 12 – Diagrama de ensaio de tração de metal dúctil

Nos materiais que se comportam de um modo frágil, essa situação já não se verifica, definindo-se o andamento $\sigma(\epsilon)$ através do seguinte esquema:

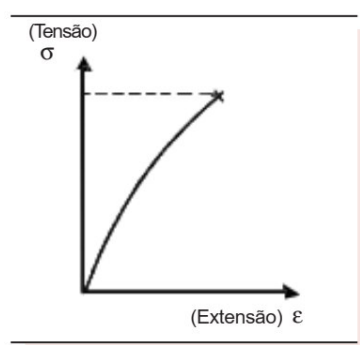


Fig. 13 - Diagrama de ensaio de tração de material frágil

Características importantes de um material, que o ensaio de tração permite determinar

- Tensão de cedência;
- Tensão limite convencional de elasticidade;
- Tensão limite convencional de proporcionalidade;
- Tensão de rotura;
- Tensão final;

- Coeficiente de estricção;
- Módulo de elasticidade ou de YOUNG.

Materiais	Módulo de Young	Rigidez específica
	10^{10} N/m^2	10^6 N.m/kg
Grafite	100	5 000
Alumina	230	580
Boro	45	190
Carboneto de Tungsténio	65	46
Pyrex	10	39
Vidro de Sílica	8	32
Ligas de Alumínio	7	26
Aço	20	25
Tungsténio	41	21
Madeira:		
longitudinal	1	16
radial	0.07	1
tangencial	0.06	1
Ligas de Cobre	12	13
Nylon	0,3	3
Polietileno	0,04	0,4

- Propriedades elásticas de diferentes materiais, à temperatura ambiente

O aço macio

Nas condições indicadas anteriormente, o aço macio, à medida que é lentamente carregado através de um ensaio de tração uniaxial, apresenta o seguinte comportamento – Fig. 14:

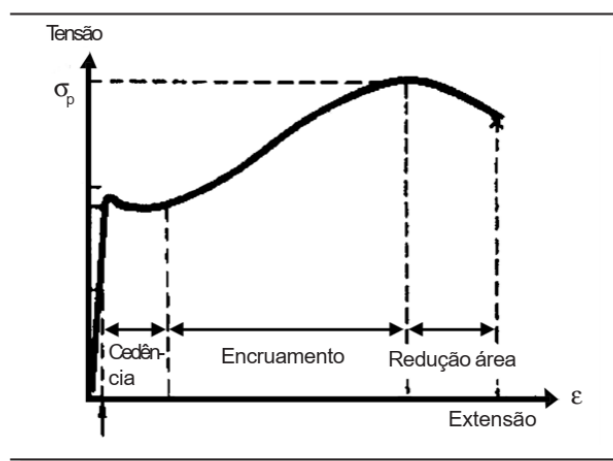


Fig. 14 - Diagrama tensão-extensão de um aço macio

Podemos observar que, até determinado valor da tensão, a extensão é diretamente proporcional à tensão. O valor da tensão a partir do qual a relação tensão-extensão deixa de ser linear (reta) designa-se por tensão limite de proporcionalidade (σ_p) e pode definir-se como a tensão máxima para a qual a tensão ainda é proporcional à deformação.

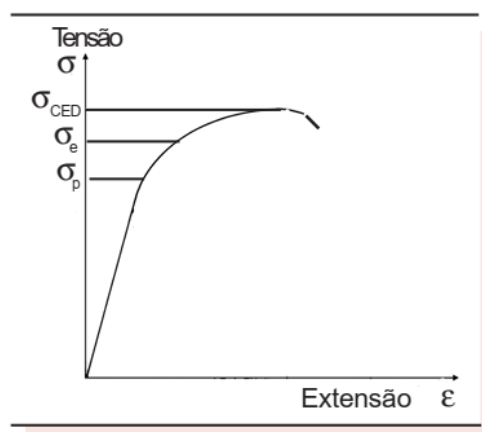


Fig. 15 - Diagrama tensão - extensão de um aço macio

Esta fórmula é conhecida por lei de HOOKE, sendo a constante de proporcionalidade "E" o módulo de elasticidade ou módulo de YOUNG.

$$\sigma_p = \epsilon \cdot E$$

Para valores de tensão superiores à tensão limite de proporcionalidade, se a carga for retirada e o provete regressar ao seu comprimento inicial, encontramos-nos perante uma deformação elástica.

À máxima tensão para a qual existe um verdadeiro comportamento elástico chamamos tensão limite de elasticidade (σ_e), ou limite elástico. Para além do limite elástico, os aumentos de extensão não são acompanhados por correspondentes aumentos de tensão e, em certos materiais, à medida que a carga é aumentada para valores superiores ao limite elástico, é atingido um ponto onde ocorrem extensões

sem aumento de tensão. A tensão correspondente a esse ponto chama-se tensão de cedência e define-se como a tensão para a qual se dá, pela primeira vez durante o ensaio, um alongamento sem aumento de tensão.

Observa-se que os materiais apresentam, normalmente, dois tipos de deformação: deformação elástica, totalmente recuperável, e deformação plástica, não recuperável. Contudo, deve realçar-se o facto de que existe recuperação elástica no domínio plástico e que esta recuperação é, inclusivamente, maior que a recuperação no domínio elástico. Define-se tensão limite convencional de elasticidade a n% (normalmente $n = 2\%$) como sendo a tensão a que corresponde uma extensão residual de n% quando se retira a força.

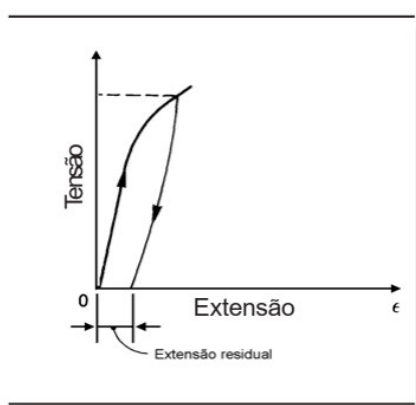


Fig. 16 - Tensão limite convencional de elasticidade

À medida que o provete de ensaio alonga, vai aumentando a sua resistência devido ao encruamento (endurecimento). Por outro lado, verifica-se uma diminuição gradual da secção reta do provete que, por sua vez, vai provocar uma diminuição da resistência. O efeito do encruamento é preponderante até se atingir o máximo da curva, ponto onde passa a predominar o efeito de redução de área, dando origem a uma instabilidade plástica. A partir daí, toda a deformação passa a ocorrer numa região do comprimento de referência, formando-se uma estrição nessa zona. À tensão correspondente ao ponto de tensão máxima da curva chamamos tensão de rotura (σ_R). A partir desse ponto, como já foi referido anteriormente, a redução local

de secção, resultante da deformação de estrição, provoca a diminuição de carga de tração, muito embora o material continue a encruar na zona de estrição.

Tensão de rotura

Para o cálculo da tensão de rotura, o ensaio tem que ser conduzido de tal forma que as extensões não excedam 25% por minuto, permitindo registar qual o valor de força máxima suportada pelo provete, ou seja, a força de rotura (F_m). Deste modo, define-se tensão de rotura σ_m , como sendo o quociente entre F_m e a área da secção inicial do provete:

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A_o}$$

Tensão final

De acordo com o gráfico (Fig. 14) apresentado anteriormente, podemos registar qual o valor da força acusada pela máquina de ensaio, imediatamente antes de se dar a rotura. Define-se tensão final como sendo o quociente entre a força final e a área da secção inicial. Poder-se-á determinar a tensão final verdadeira, dividindo o valor da força final pela área da secção final do provete.

Extensão após rotura

Para a obtenção deste valor, o ensaio é efetuado até à rotura, nas condições, enunciadas. Uma vez terminado o ensaio, reconstitui-se o provete através de um ajuste cuidadoso dos dois fragmentos.

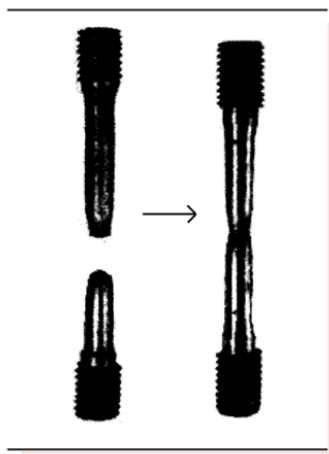


Fig. 17 - Ajuste dos dois fragmentos do provete

Extensão após rotura é a relação entre o aumento de comprimento e o comprimento inicial (em %).

$$\varepsilon = \frac{l_u - l_o}{l_o} \times 100$$

3.2 ENSAIO DE TRACÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS

A forma da junta deve ser tal que no seu interior se possa inscrever um círculo de 20 mm de diâmetro (ver Fig. 18).

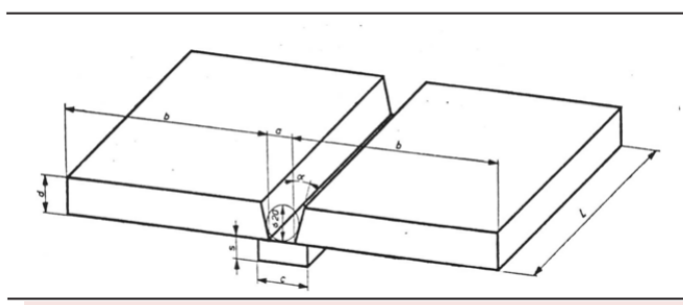


Fig. 18 - Forma da junta soldada

A armação da junta soldada deve respeitar uma distância mínima de 28 mm entre as arestas superiores do chanfro (ver Fig.19).

A força (F) que atua no ponto que a figura 22, indica pode ser aplicada por:

- Pressão imposta por uma prensa;
- Choque provocado por um martelo.

O ensaio é concluído com a observação cuidadosa da superfície de fratura.

Após a fratura do provete, a superfície de fratura é examinada com o objetivo de avaliar:

- Porosidades;
- Inclusões de escória;
- Penetração;
- Tamanho de grão.

5 ENSAIO DE DOBRAGEM

5.1 INTRODUÇÃO

Os ensaios de dobragem, embora não permitam resultados quantitativos, são um meio eficaz de detetar problemas metalúrgicos e de compacidade que podem afetar o comportamento dos materiais em serviço.

Assim, os ensaios de dobragem são correntemente empregues na receção de produtos, no controlo da qualidade de produtos fabricados, na qualificação de procedimentos de soldadura e soldadores, entre outros. De um modo geral, os objetivos dos ensaios de dobragem são os seguintes:

- Verificar a capacidade de dobragem e enformação dos materiais;
- Detetar defeitos de compacidade e metalúrgicos (segregações, inclusões não metálicas, faltas de fusão e heterogeneidades);
- Obter valores comparativos da ductilidade dos materiais.

5.2 PRINCÍPIO DO ENSAIO

O ensaio de dobragem consiste em sujeitar um provete a uma deformação plástica por flexão, com as finalidades atrás referidas. A severidade dos ensaios, ou seja, o alongamento que as fibras vão sofrer, varia com o diâmetro do punção e com a espessura do provete.

5.3 FORMAS DE EXECUÇÃO

Existem diversos tipos de ensaios de dobragem, adaptados ao tipo de produto e à informação que se pretende obter. Assim temos:

Ensaio por flexão em 3 pontos com punção e apoio de rolos

Os ensaios por flexão em 3 pontos, com punção e apoios de rolos, são frequentemente utilizados. O dispositivo para execução deste tipo de ensaio é constituído por um punção e dois rolos móveis ou fixos.



Fig. 24 - Equipamento para ensaios de dobragem

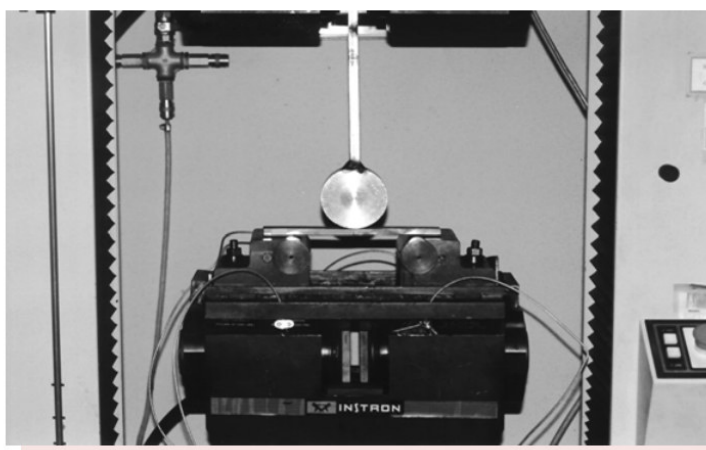


Fig. 25 - Ensaio por flexão - antes do ensaio de dobragem

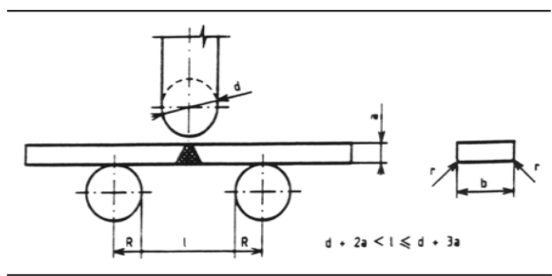


Fig. 26 Ensaio de dobragem por flexão em 3 pontos

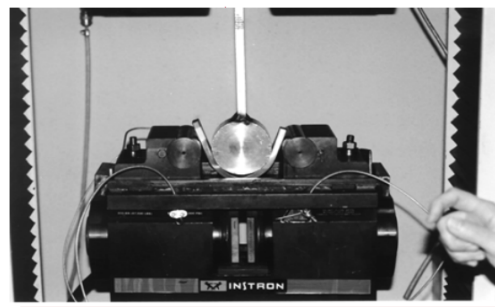


Fig. 27 - Ensaio por flexão – após o ensaio de dobragem

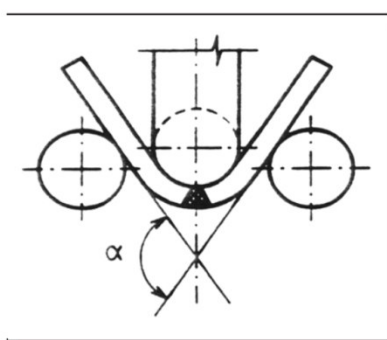


Fig. 28 - Esquema do provete no final do ensaio



Fig. 29 - Provete após o ensaio de dobragem

Ensaio de dobragem por flexão

O ensaio de dobragem por flexão, consiste em sujeitar um provete a uma deformação plástica por flexão, com as finalidades atrás referidas.

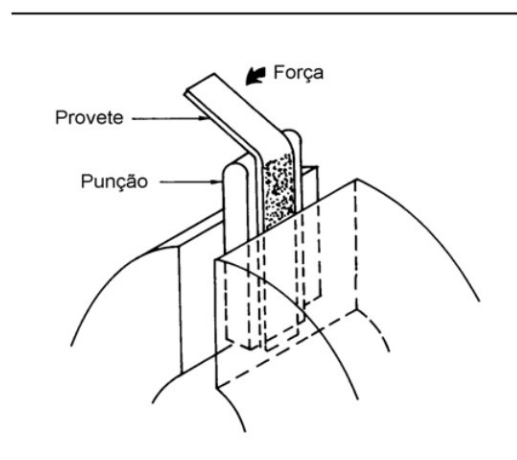


Fig. 30 - Dobragem por flexão

A flexão pode ser provocada por uma alavanca, ou por pancada de martelo.

Ensaio de dobragem livre

Como se pode verificar na Fig. 31, este ensaio é realizado de a) para b) ou de a) para c), consoante a sua finalidade. É empregue quando se pretendem efetuar ensaios com um raio de curvatura muito pequeno ou nulo.

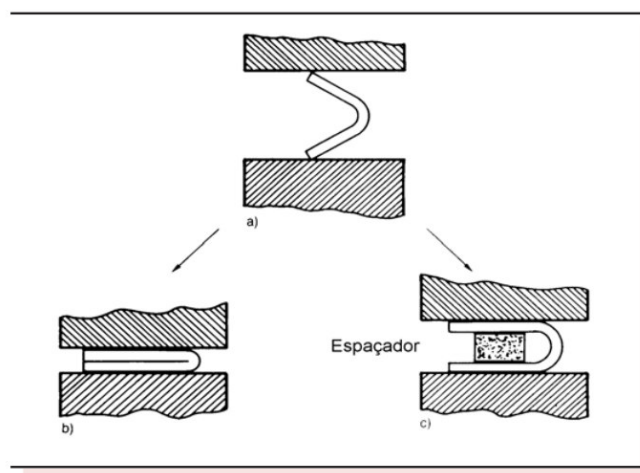


Fig. 31 - Dobragem livre

Ensaio de dobragem com punção e matriz

Este tipo de ensaio é utilizado para efetuar dobragens de produtos pouco espessos, com raio de curvatura muito pequeno ou com um ângulo bem determinado.

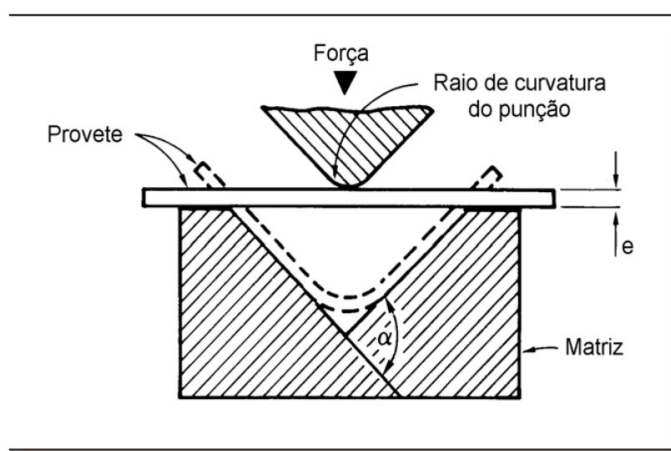


Fig. 32 - Dobragem em matriz

5.4 TIPOS DE DOBRAGENS

Os ensaios são efetuados a partir de provetes tirados de conjuntos soldados representativos das soldaduras que se pretendem empregar em fabrico. Os diversos tipos de dobragem, referidos em seguida, estão adaptados às zonas das soldaduras que se pretende ensaiar, à geometria das juntas e aos materiais em presença.

Numa junta soldada de pequena espessura (até 10 mm), as zonas onde normalmente se verificam condições extremas de soldadura, são a face e a raiz da soldadura.

Os tipos de dobragem são os seguintes:

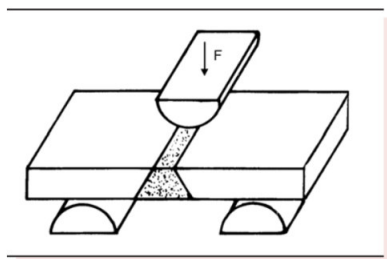


Fig. 33 - Dobragem transversal de face

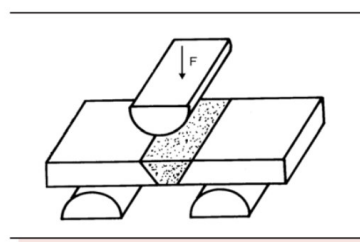


Fig. 34 - Dobragem transversal de raiz

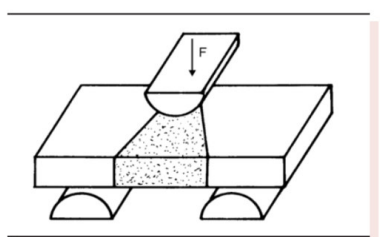


Fig. 35 - Dobragem transversal lateral

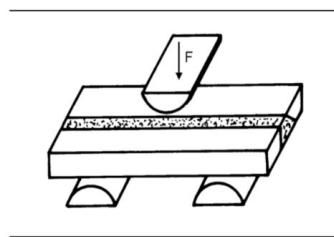


Fig. 36 - Dobragem longitudinal de face

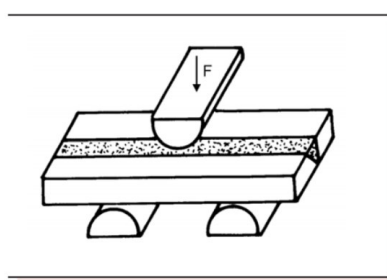


Fig. 37 - Dobragem longitudinal de raiz

5.5 APLICAÇÕES

Os ensaios de dobragem são largamente utilizados na construção soldada. Eis as principais aplicações:

- Controlo da qualidade;
- Qualificação de soldadores e procedimentos de soldadura;
- Detecção de defeitos com origem numa má técnica operatória ou alterações metalúrgicas;
- Avaliação comparativa da ductilidade dos materiais (ângulo de dobragem);
- Avaliação da aptidão dos materiais à operação de dobragem;
- Afinação das condições de fabrico;
- Determinação de ângulos de dobragem.

6 ENSAIO DE DUREZA

6.1 INTRODUÇÃO

Correntemente são atribuídos diferentes significados à dureza. Assim, esta propriedade é muitas vezes entendida como uma medida de resistência dos materiais a ações de origem mecânica que se exercem sobre a sua superfície, tais como o desgaste, a deformação plástica, a penetração, o corte por arranque de aparas, o risco, etc.

Se atendermos ao fenómeno físico que ocorre numa dureza por impressão, esta pode ser entendida como uma medida da resistência do material à deformação plástica. Ao longo do tempo desenvolveram-se técnicas para medição da dureza dos materiais, as quais se foram estabelecendo por convenção. Estas técnicas, designadas por ensaios de dureza, estão hoje em dia normalizadas e permitem quantificar de forma comparativa a propriedade mecânica a que chamamos dureza.

6.2 TIPOS DE ENSAIOS

Os ensaios de dureza podem ser agrupados, segundo os seus princípios de funcionamento, em ensaios de risco, ressalto e penetração.

Dado que o ensaio atualmente mais usado em soldadura, é o de penetração ou indentação, será o que vai ser estudado neste texto.

6.3 ENSAIO DE DUREZA BRINELL

O ensaio de dureza Brinell foi o primeiro a ser largamente aceite e utilizado na medição da dureza dos metais.

Princípio de funcionamento

Uma esfera de diâmetro D é comprimida contra a superfície do material a ensaiar por uma força F , durante um tempo t . Após a extinção da força, é medido, através de um micrómetro óptico, o diâmetro d , da impressão, (veja-se esquema do ensaio na Fig. 38).

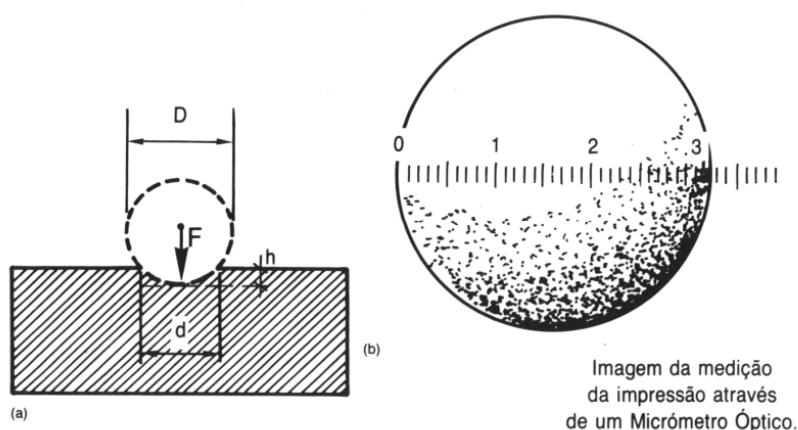


Fig. 38 – Esquema do ensaio Brinell

O número de dureza Brinell é obtido dividindo a força de ensaio pela superfície da calote esférica de impressão, conforme a equação seguinte:

$$HB = \frac{1F}{gA} = 0,102 \frac{F}{\pi Dh} = \frac{0,102}{\pi D} \times \frac{2F}{D - (D^2 - d^2)^{1/2}}$$

Fig. 39 – Equação para o ensaio Brinell

O ensaio tal como foi proposto por J.A. Brinell em 1900, utilizava uma esfera de aço com 10 mm de diâmetro e a força de ensaio era de 3000 Kg. Posteriormente, para que o ensaio pudesse ser utilizado em peças de menores dimensões e em metais menos duros, quer a força de ensaio quer o diâmetro da esfera foram reduzidos.

Equipamento de ensaio

O equipamento de ensaio é constituído por um sistema de aplicação de força, um penetrador (esfera de aço ou de carboneto de tungsténio) e um sistema de medição com capacidade de ampliação visual entre 20 e 80 vezes (micrómetro óptico ou microscópio com micrómetro acoplado). Por forma a evitar erros nos valores de dureza Brinell medidos, devido à deformação da esfera esta deve possuir uma dureza bastante superior à do material a ensaiar.

Assim, para materiais até 450 HB empregam-se esferas de aço temperado com uma dureza de 850 Vickers (HV) no mínimo. Para materiais com durezas até 650 HB empregam-se esferas de carboneto de tungsténio sinterizado, com durezas superiores a 1500 Vickers (HV).

Na Fig. 40 apresentam-se exemplos de durómetros universais. Permitem efetuar diversos tipos de ensaio por impressão, entre os quais os ensaios de dureza Brinell, Vickers e Rockwell.



Fig. 40 – Durómetros universais

Técnica de ensaio

O ensaio de dureza Brinell deve ser efetuado a uma temperatura entre 10 e 35 °C. A esfera é levada, suavemente, ao contacto com a superfície da peça a ensaiar. Em seguida inicia-se a compressão da esfera de forma progressiva sem choques nem vibrações até se atingir a força “F” (força de ensaio), a qual deve permanecer aplicada durante um intervalo de tempo “t” (10 a 15 segundos). Após remoção da força medem-se dois diâmetros ortogonais da impressão. A média dos dois diâmetros “d” permite calcular o valor de dureza Brinell através da Equação da Fig. 39. A força F, de acordo com a NP EN 10003-1, pode variar de 9,807 a 29,42 kN.

A espessura da peça deve ser tal, que nenhuma marca seja visível do lado oposto ao da impressão, assim no mínimo a peça deve ter uma espessura de 8 vezes a profundidade da impressão. Dadas as dimensões relativamente elevadas das impressões Brinell, este ensaio não é muito adequado em medições sobre superfícies não planas. Para ensaios sobre superfícies curvas as normas de ensaio introduzem fatores corretivos.

Preparação das superfícies

As superfícies devem estar isentas de sujidades, óxidos e lubrificantes. Superfícies irregulares ou com mau acabamento, são origem de erros.

Quanto mais pequenas são as impressões, maior a sua sensibilidade ao estado superficial.

Por outro lado, menor a definição do contorno da impressão, o que pode introduzir erros de leitura. Assim o acabamento deve ser tanto melhor quanto menor for o diâmetro da impressão.

Número de dureza Brinell

O número de dureza Brinell calculado pela equação da Fig. 39, deve ser indicado da seguinte forma: em primeiro lugar indica-se o número obtido (nnn) seguido das letras HBS ou HBW conforme, respetivamente, se utilize uma esfera de aço ou de carboneto de tungsténio. Em seguida separados por barras indicam-se, pela seguinte ordem: o diâmetro da esfera (ddd), a força de ensaio (fff) e o tempo de aplicação da força (ttt):

Exemplo 1:

Indicação da dureza Brinell 350 obtida com uma esfera de aço de 2,5 mm de diâmetro e uma força de ensaio de 1,839 KN (187,5 Kg), aplicada durante 10 a 15s:

350 HBS2,5/187/15

Exemplo 2:

Indicação da dureza Brinell 560 obtida com uma esfera de carbonetos de tungsténio de 2 mm de diâmetro e uma força de ensaio de 1,177 KN (120 Kg), aplicada durante 20s:

560 HBS2/120/20

6.4 ENSAIO DE DUREZA VICKERS

O ensaio de dureza Vickers é um ensaio por penetração em que o penetrador (pirâmide quadrangular) é comprimido contra a peça a ensaiar por uma força bem determinada.

Após extinção da força, medem-se as diagonais da impressão; o número de dureza Vickers é calculado dividindo o valor da força de ensaio pela área de impressão.

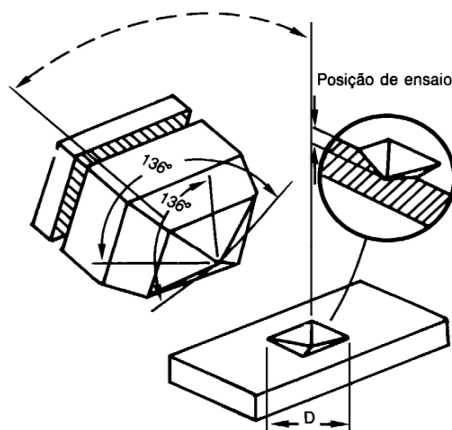


Fig. 41 Ensaio Vickers - Geometria do Penetrador

O número de dureza Vickers é dado pela seguinte equação:

$$HV = \frac{\text{Força de ensaio}}{\text{Área da impressão}} = \frac{2F \sin(\alpha/2)}{D^2} = 1,8544 \frac{F}{D^2}$$

Número de dureza Vickers

O número de dureza Vickers deve ser indicado da seguinte forma: Em primeiro lugar indica-se o número obtido (nnn), seguido das letras HV, em seguida, separado por barras, a força de ensaio (fff) e o tempo de aplicação da força (ttt): nnn HVfff/ttt

Exemplo 1:

Indicação da dureza Vickers 350 obtida com uma força de ensaio de 49,03 N, aplicada durante 10 a 15s:

350 HV5

Exemplo 2:

Indicação da dureza Vickers 600 obtida com uma força de ensaio de 294,2 N, aplicada durante 25s:

600 HV30/25

Aplicações em Soldadura

As durezas HV5 e HV10 são bastante utilizadas no controlo de juntas soldadas, em particular na deteção de heterogeneidades devidas a transformações metalúrgicas associadas aos ciclos térmicos da soldadura.

Assim, através da realização de filiações, sondam-se as diversas zonas de uma junta soldada, desde o metal de base, que não sofreu qualquer alteração metalúrgica, até ao metal que fundiu, passando pela ZAC e pela zona de ligação (Fig. 41).

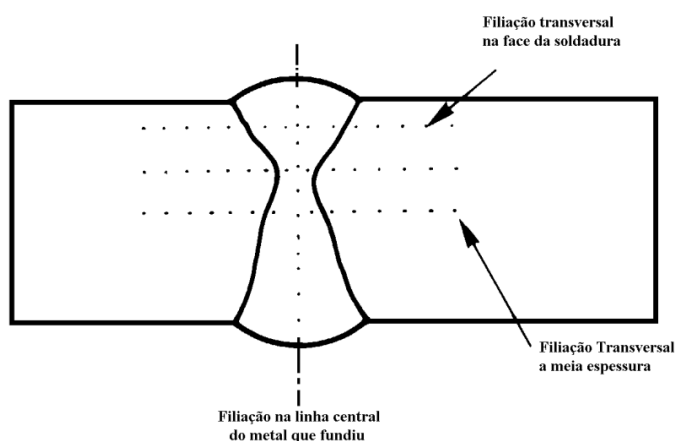


Fig. 42 Filiações de dureza em juntas soldadas

Através das filiações de dureza Vickers, é possível detetarem-se transformações metalúrgicas em juntas soldadas (como têmperas, sobre-revenidos, etc.) as quais, em última análise, podem comprometer o comportamento em serviço das construções.

6.5 ENSAIO DE DUREZA ROCKWELL

O ensaio de dureza Rockwell é um ensaio que se baseia na medição da profundidade de penetração alcançada para avaliar a dureza do material a ensaiar.

Princípios de funcionamento

No ensaio de dureza Rockwell uma força inicial F_0 é aplicada a um penetrador. O ponto até onde o penetrador se deslocou pela ação da força inicial, é tomado como a origem do valor da penetração que terá lugar posteriormente. A força inicial F_0 é acrescida de uma força adicional F_1 , durante um determinado intervalo de tempo t , a qual provoca uma penetração adicional h_1 . Após remoção da força adicional e mantendo aplicada a força inicial F_0 , é medido o acréscimo remanescente de penetração e a partir do qual se define o valor da dureza.

A aplicação da força inicial, permite uniformizar o posicionamento do penetrador, antes de ser medido o valor da penetração que vai servir de base à determinação da dureza Rockwell.

Esta técnica elimina folgas do equipamento, obriga a um melhor assentamento da peça, elimina a dificuldade de determinar qual seria o ponto exato em que se daria o contacto inicial com a peça e diminui a sensibilidade do ensaio ao estado superficial.

A força adicional provoca um acréscimo de penetração associada a uma deformação plástica e elástica do material na vizinhança do penetrador. Quando se retira a força adicional uma parte do acréscimo de penetração, mais propriamente a parcela associada à deformação elástica, é recuperada, permanecendo no entanto a penetração associada à deformação plástica, a qual é designada por acréscimo remanescente de profundidade de penetração.

Tipos de Dureza Rockwell

Os ensaios de dureza Rockwell possuem uma série de escalas adaptadas ao material, à gama de durezas e à espessura do provete ou da camada superficial a ensaiar. As diversas escalas diferem nas forças de ensaio e nos penetradores que utilizam. Apresenta-se seguidamente, tabela parcial com as escalas de dureza Rockwell mais usadas na metalomecânica:

Escala	Penetrador	Força inicial (N)	Força total (N)	Aplicações
A	Diamante esférico-cónico	98,07	588,4	Superfícies cementadas de pequena profundidade, carbonetos de metais sinterizados, produtos de aço pouco espessos
B	Esfera de aço (60,1588 mm)	98,07	980,7	Ligas de cobre e alumínio, ferro fundido maleável
C	Diamante esférico-cónico	98,07	1471,0	Aços, ferros fundidos duros, ferro fundido branco maleável, titânio, superfícies cementadas de grande profundidade e todos os materiais com dureza superior a 100HRB
D	Diamante esférico-cónico	98,07	980,7	Produtos de aço pouco espessos, superfícies cementadas, ferro fundido branco maleável
E	Esfera de aço (3,175 mm)	98,07	980,7	Ferro fundido, ligas de alumínio e magnésio, ligas anti-fricção

Equipamento de Ensaio

O equipamento de ensaio é constituído por um sistema de aplicação de força, por um penetrador esférico-cónico (Fig. nn) ou esférico e ainda, por um comparador para medição da profundidade de penetração.

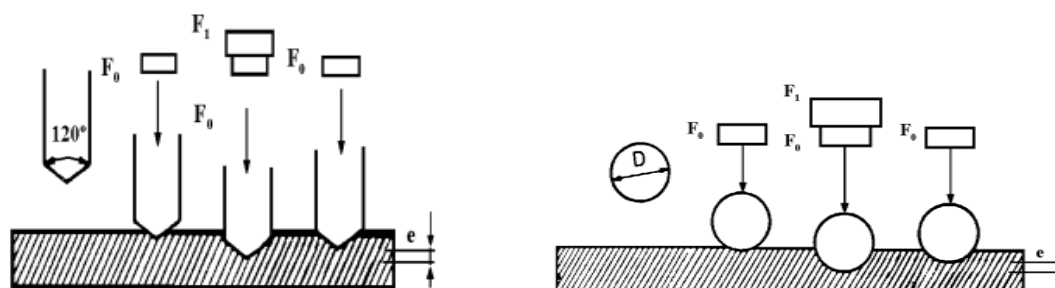


Fig. 43 Ensaio Rockwell - Esquema de princípio

Técnica de ensaio

O ensaio de dureza Rockwell deve ser efetuado a uma temperatura entre 10 e 35 °C. O penetrador deve ser levado ao contacto com a peça a ensaiar com suavidade, após o que é comprimido progressivamente até se atingir o valor da força inicial F_0 . É feito o zero do instrumento de medida e em seguida, é aplicada a força adicional F_1 igualmente de forma progressiva.

A força total F (correspondente à força inicial F_0 mais a força adicional F_1) é mantida durante um tempo t , após o que é removida e é efetuada a leitura do acréscimo remanescente de penetração.

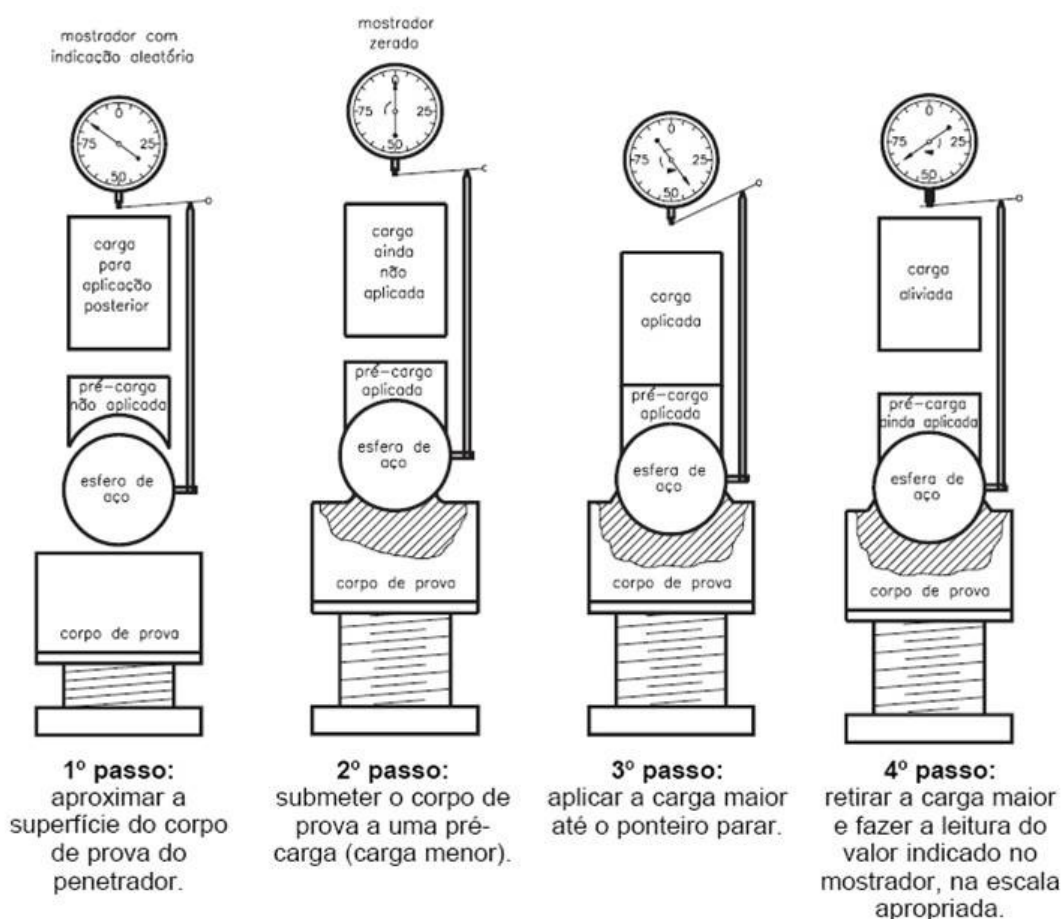


Fig. 44 Ensaio Rockwell – Técnica de Ensaio

O provete ou peça a ensaiar deve estar bem assente de tal forma que não se possa mover durante a execução do ensaio, caso contrário podem ocorrer erros ou mesmo danos no penetrador.

Exemplo 1:

Indicação de um valor de dureza Rockwell na escala C igual a 54:

54 HRC

7 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ENERGIA

7.1 INTRODUÇÃO

Os ensaios de absorção de energia ou de choque destinam-se, a medir a capacidade de um determinado material em absorver impactos bruscos. Ou dito de outra forma, determinar a tendência dos materiais, e em que circunstâncias, de se comportarem de forma frágil.

A aplicação instantânea de cargas, pode provocar devido ao choque, a rotura instantânea ou a fratura. A energia de impacto é considerada como sendo aquela que é necessária para fraturar o provete. Por outras palavras, a ductilidade do provete é avaliada através da energia absorvida pelo mesmo.

É de referir que estes ensaios são de bastante interesse na avaliação do comportamento em serviço de estruturas soldadas, na medida em que o estado de tensão provocado pelos cordões de soldadura pode ser considerado semelhante à concentração de tensões devida ao entalhe.

7.2 TEMPERATURA DE TRANSIÇÃO

Os ensaios de choque podem ser largamente afetados pela temperatura. Por exemplo, durante a 2ª Guerra Mundial muitos navios de aço soldado sofreram fraturas

catastróficas no mar do Norte, sem causa aparente. Os navios, ao embaterem em icebergs ou ao serem torpedeados, partiam-se em dois numa fração de segundo. Isto era devido à propagação de uma fissura ao longo do casco e convés, a uma velocidade da ordem de grandeza da velocidade de propagação do som no material.

Observou-se posteriormente, que a causa de tais fraturas era a significativa descida da tenacidade dos aços de construção dos navios, quando se encontravam em águas demasiado frias. A alteração do comportamento dúctil para frágil ocorre num estreito intervalo de temperatura, designado por temperatura de transição (temperatura de transição T é aquela para a qual a tenacidade do material cai bruscamente). A tenacidade pode ser definida como a quantidade de energia que o material pode receber antes de se verificar a fratura.

Ao efetuarmos ensaios de choque a diferentes temperaturas (eixo das abcissas) obtemos diferentes energias absorvidas (eixo das ordenadas), tornando-se fácil identificar o valor da temperatura de transição (ver Fig. VI.1).

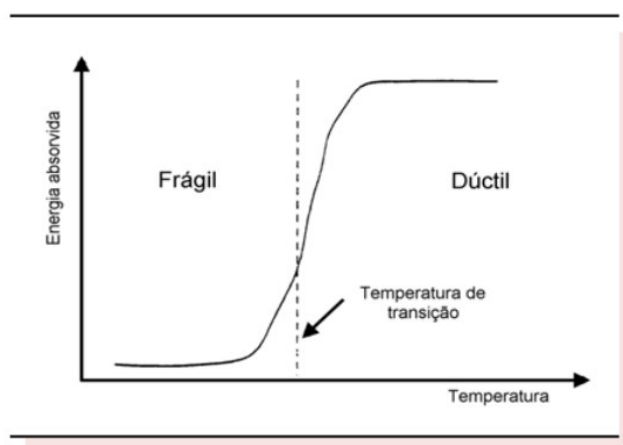


Fig. 45 - Temperatura de transição

Resumidamente, podemos dizer que a rotura frágil é caracterizada por:

1. O material não apresentar deformação plástica até à rotura;
2. Uma pequena quantidade de energia absorvida nos ensaios de choque;
3. Um aspeto cristalino nas superfícies de fractura;

4. Uma vez iniciada a fissura, esta propaga-se a uma velocidade próxima da velocidade de propagação do som no material.

Por outro lado, e na maioria dos casos, não há uma temperatura de transição nítida, mas antes, uma zona onde existe uma grande dispersão de resultados. Regra geral, os materiais devem ser escolhidos entre os que têm temperatura de transição mais baixa, apesar de, expostos à temperatura ambiente, poderem apresentar uma resiliência maior. Resiliência é a energia absorvida no domínio elástico (até à tensão de cedência).

7.3 ENSAIO DE CHARPY

De todos os ensaios de choque, o de Charpy, é sem dúvida o mais empregue, em particular, a baixas temperaturas, onde os provetes são mais fáceis de ensaiar.

O ensaio consiste em romper, de um só golpe, com um martelo pendular, um provete entalhado que se encontra sobre dois apoios (Fig. 46). Em seguida, é determinada a energia absorvida, podendo esta ser medida através da diferença de altura entre o sítio de onde se larga o pêndulo (h) e a altura que o mesmo atinge após o embate no provete (h').

Em geral, as máquinas de ensaio dispõem de um indicador que se move proporcionalmente ao ângulo, fornecendo diretamente a energia absorvida.

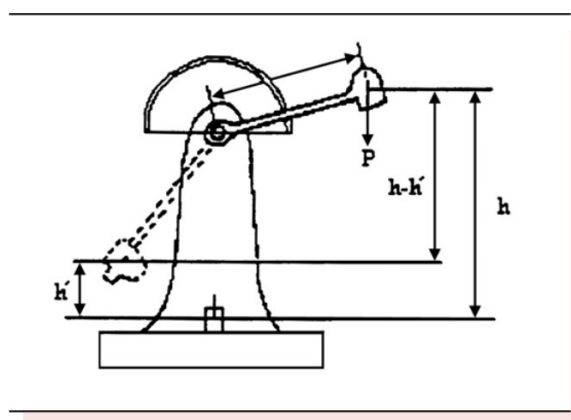


Fig. 46 – Esquema da máquina para Ensaio do pêndulo de Charpy

O provete inteiramente maquinado, por um qualquer processo que não provoque estrias no fundo do entalhe, é colocado no suporte de tal modo que o choque se dê na face oposta à do entalhe.

A velocidade do martelo está normalmente compreendida entre 5 e 7 m/s.

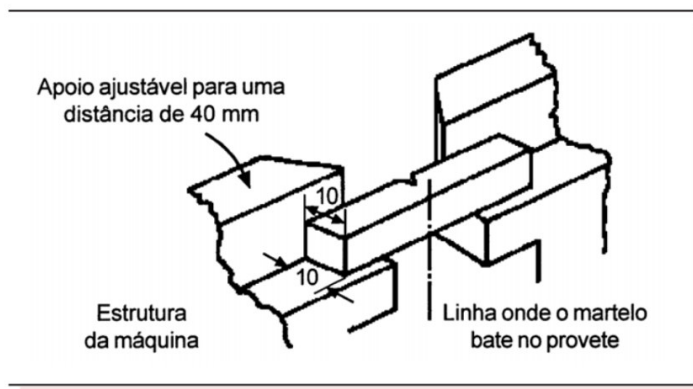


Fig. 47 - Pormenor do ensaio CHARPY

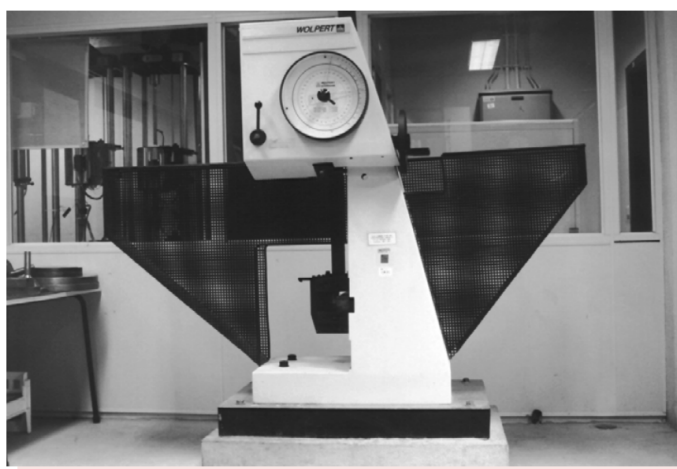
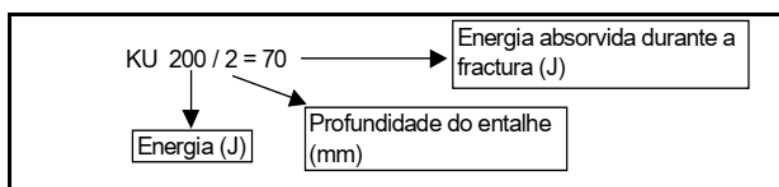


Fig. 48 - Máquina de ensaio

Resultados do ensaio

No relatório do ensaio deverá ser apresentado o valor da energia absorvida até à rotura do elemento e o símbolo "KV" ou "KU", consoante se trate de provetes maquinados com entalhe em "V" ou entalhe em "U". Neste último caso, deverá ainda

indicar-se a profundidade do entalhe e em ambos os casos, o valor da energia potencial máxima, se esta for diferente da indicada pela norma.



Relatório

O relatório de um ensaio deste tipo deve conter as seguintes informações:

- Norma utilizada;
- Identificação do provete;
- Forma e dimensões;
- Energia potencial máxima do martelo;
- Temperatura do ensaio em °C;
- Energia absorvida.

8 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

8.1 INTRODUÇÃO

Os **ensaaios não destrutivos** são utilizados para determinar características, propriedades (ensaaios físico-químicos), dimensões (ensaaios metrológicos) ou comportamento de peças ou equipamentos (ensaaios funcionais).

Vantagens dos ensaios não destrutivos

- Permitem praticar a inspeção a 100%;
- Fornecem resultados relativamente a todo o volume de uma peça;

- Contribuem para melhorar o projeto de uma peça;
- Previnem a ocorrência de falhas em serviço;
- Permitem a deteção e caracterização de defeitos;
- Permitem fazer a caracterização de materiais;
- Permitem fazer a sua caracterização metrológica por verificação das dimensões.

Classificação em função da capacidade de deteção

- Ensaaios volumétricos: permitem avaliar todo o volume da peça (Exemplos: Ensaaios por Raio-X, Ultra-Sons e Correntes Induzidas);
- Ensaaios subsuperficiais: permitem avaliar parte da peça (Exemplo: Ensaio por Magnetoscopia);
- Ensaaios superficiais: permitem avaliar apenas a superfície da peça (Exemplo: Ensaio por Líquidos penetrantes).

9 INSPEÇÃO VISUAL

O exame a uma peça inicia-se sempre por uma operação de inspeção visual.

A **inspeção visual** é um método de ensaio não destrutivo que se usa quer isoladamente, rejeitando logo a peça sem necessidade de ensaios posteriores, quer em conjunto com outros métodos de ensaio não destrutivo.

Em soldadura, a inspeção visual é aplicada na deteção de descontinuidades, tais como:

- Bordos queimados;
- Sobre-espessura dos cordões;
- Forma das estrias de solidificação (relacionada com a velocidade de execução dos cordões);

- Defeitos superficiais (como por exemplo, crateras);
- Falta de penetração.

A inspeção visual utiliza o seguinte método:

A peça a inspecionar, é iluminada com uma fonte de luz, sendo examinada pelo inspetor.

Existem dois tipos de inspeção visual:

– **Inspeção visual direta**

Resulta da observação direta, a qual pode utilizar, ou não, equipamentos auxiliares como lupas e microscópios.

– **Inspeção visual indireta**

Resulta da aplicação de técnicas de visão artificial como meio auxiliar.

Espelhos, lupas, microscópios e telescópios

Utilizam-se quando se pretende aumentar a dimensão das discontinuidades a observar.



Fig. 49 - Microscópio

Endoscópios

Utilizam-se quando o objetivo é a inspeção das paredes interiores de uma peça, como por exemplo, tubos ou reservatórios. O endoscópio é um aparelho constituído por um

tubo, rígido ou flexível, com um sistema ótico incorporado, o qual permite inspecionar superfícies interiores, quando é introduzido na peça através de um furo, que pode ter dimensões inferiores a 2 milímetros.

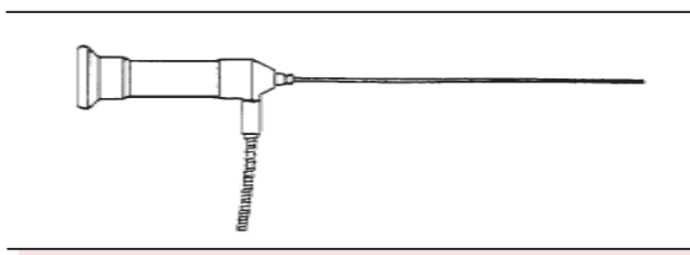


Fig. 50 - Endoscópio

Os ensaios não destrutivos após a soldadura podem utilizar vários tipos de controlo, nomeadamente o Controlo visual, o qual permite decidir essencialmente sobre a necessidade de um controlo mais completo. Este controlo incide, sobretudo, na análise de:

- a) Presença de bordos queimados;
- b) Existência de sobre-espessura, nas soldaduras topo a topo, ou na determinação da altura, nas soldaduras de ângulo, medidas com a ajuda de calibres, ou equipamentos especiais;
- c)

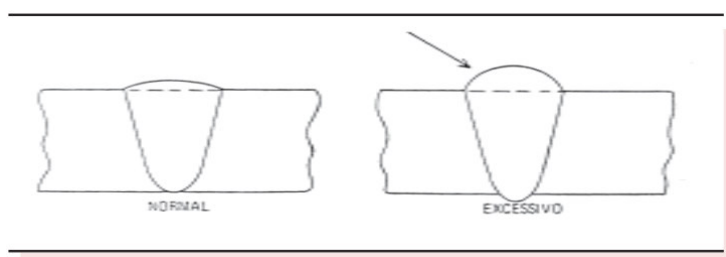
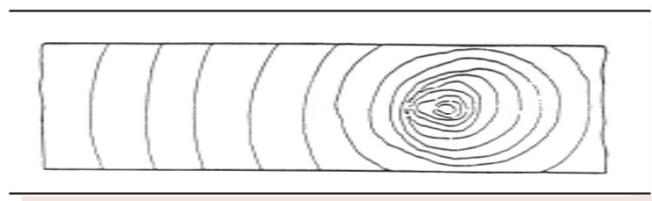


Fig. 51 - Sobre-espessura de cordão de soldadura

- d) A forma das estrias de solidificação, as quais estão relacionadas com a velocidade de execução dos cordões de soldadura;

e)

*Fig. 52 - Forma das estrias de solidificação*

- f) Defeitos de superfície;
- g) Penetração do cordão pela fusão completa da raiz da junta.

10 ENSAIO DE ESTANQUICIDADE

Trata-se de um ensaio muito utilizado e que consiste na introdução no recipiente em análise, de um líquido ou gás, sob pressão ou não. Este ensaio permite controlar a estanquidade (não existência de fugas) nas juntas soldadas (ou de qualquer outro tipo);

- Controlo por líquidos penetrantes, método que só permite a localização de defeitos superficiais;
- Controlo por magnetoscopia, o qual consiste em criar, no seio de uma peça ferromagnética, um campo magnético perpendicular ao defeito;
- Controlo radiográfico, em que a peça a controlar é submetida a uma incidência de raios X ou γ (gama), o que permite detetar defeitos no interior da peça;
- Controlo por ultra-sons, o qual se baseia na reflexão de ondas sonoras de alta frequência transmitidas no material, que constitui a peça a ensaiar;
- Controlo por correntes de "EDDY". Baseia-se na variação da impedância elétrica de uma bobina, quando esta é submetida a um campo magnético.

A interpretação dos defeitos, é por vezes difícil, sendo necessário ter um perfeito conhecimento e uma grande experiência do método, para se poder fazer um julgamento definitivo sobre o valor dos resultados obtidos.

Para evitar riscos de interpretação, poder-se-á recorrer a um duplo controlo (radiográfico e por ultra-sons, por exemplo). Cada um dos métodos, permitirá definir defeitos particulares, como se indica na tabela seguinte. Em qualquer circunstância, um exame visual prévio é sempre aconselhável, já que poderá vir a tirar dúvidas futuras que surjam com a interpretação dos resultados de um qualquer ensaio não destrutivo.

Tipo de defeito de Soldadura	Inspec ^{ão} visual	Ensaio por Magnetoscopia	Líquidos penetrantes	Ultra-sons	Raios X e raios γ
Bordos queimados	++	-	-	-	+ (fonte de erros)
Falta de penetra ^{ção} no chanfro V	++	++	-	++	+
Falta de penetra ^{ção} no Chanfro X	-	+	-	++	+
Colagens	-	-	-	+ (sob reserva)	-
Inclusões e poros	-	-	-	+	++
Fissuras superficiais	+	++	++	++	+
Fissuras não superficiais	-	+	-	++	+

Tabela - ++ : Muito recomendado, + : Geralmente utilizável, - : Desaconselhado

11 ENSAIO POR LÍQUIDOS PENETRANTES

11.1 INTRODUÇÃO

O ensaio por líquidos penetrantes é um processo não destrutivo de localização de defeitos superficiais que surgem à superfície nos materiais sólidos e não porosos, aproveitando o fenómeno de capilaridade. Trata-se portanto, de um ensaio superficial de inspeção indireta, já que utiliza um penetrante que se introduz nos defeitos superficiais. Após a aplicação de um revelador, mostra de uma forma clara, esses defeitos.

11.2 AS FASES DO MÉTODO

1º - Preparação da superfície

As superfícies a inspecionar devem estar completamente limpas e secas, porque o estado da superfície influencia a ação de entrada e saída do penetrante;

2º - Aplicação do penetrante

O líquido penetrante é aplicado de modo a formar, sobre a superfície a inspecionar, um filme contínuo que se estende para além da área a inspecionar. Este deve permanecer o tempo suficiente para permitir a atuação do penetrante;

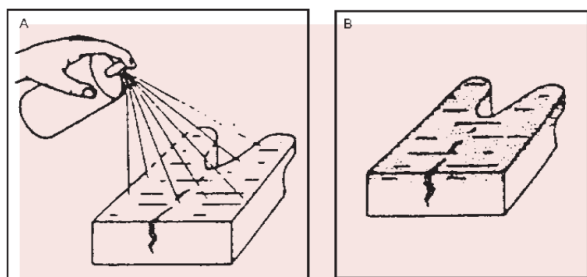


Fig. 53 - Aplicação do penetrante/Tempo de penetração

3º- Remoção do excesso de penetrante

Esta fase tem por fim a remoção do excesso de líquido que não penetrou nas fendas e permaneceu na superfície da peça.

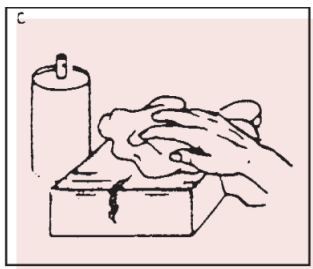


Fig. 54 - Remoção do excesso de penetrante

4º - Aplicação do revelador/revelação.

A função do revelador consiste em melhorar a visibilidade das indicações dadas pelo penetrante.

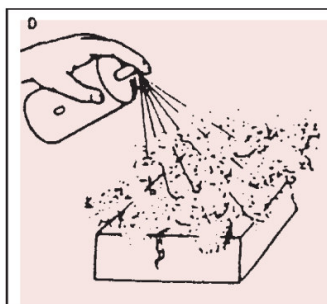


Fig. 55 - Aplicação do revelador

5º - Inspeção e interpretação.

A operação de inspeção, constitui uma das fases mais importantes na aplicação do método. A deteção e caracterização das descontinuidades, dependerá do operador e da iluminação utilizada.

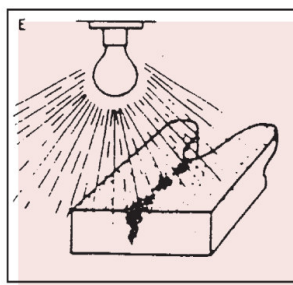


Fig. 56 - Inspeção

6º - Limpeza final.

Após a operação de inspeção, é necessário proceder à limpeza das peças porque os resíduos dos materiais utilizados, podem ter efeitos nocivos quer em operações posteriores de reparação quer no comportamento em serviço das peças.

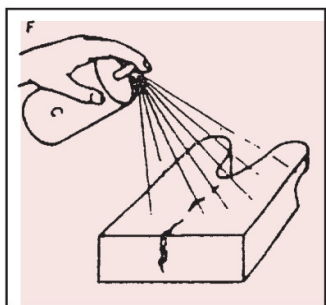


Fig. 57 - Limpeza final

Equipamento fixo

O equipamento fixo é constituído por uma série de postos ou estações, correspondendo, cada uma delas, a uma das operações de inspeção por líquidos penetrantes.

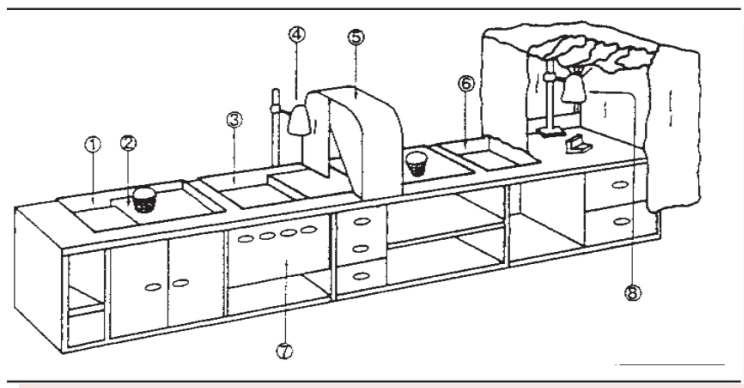


Fig. 58 - Disposição usual do equipamento fixo

Equipamento portátil

O equipamento portátil é constituído, essencialmente, pelas embalagens pressurizadas (sprays) que contêm os materiais líquidos penetrantes, podendo estes ser coloridos ou fluorescentes. Na inspeção de peças de grandes dimensões ou em trabalhos de campo para as quais se torna impossível a utilização de equipamentos fixos, é usual utilizar este tipo de equipamento. Um conjunto para ensaio por líquidos penetrantes, em que o penetrante é do tipo fluorescente, contém normalmente os seguintes elementos:

- Fonte de luz negra;
- Embalagem do agente de limpeza;
- Embalagem com o líquido penetrante fluorescente;
- Embalagem do revelador não aquoso;
- Panos e escovas.

11.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO MÉTODO

Principais vantagens

- Permite a deteção de descontinuidades muito pequenas, mesmo em peças de geometria complexa;
- Pode ser utilizado numa vasta gama de materiais magnéticos, ligas de alumínio, de magnésio, bronzes, latões, plásticos, vidros ou cerâmicos e materiais forjados ou vazados;
- Utiliza equipamentos simples que não exigem grandes investimentos;
- Permite a inspeção a 100% de um lote de pequenas peças.

Principais desvantagens

- Deteção exclusivamente de descontinuidades abertas à superfície;
- Exige que a superfície a inspecionar, bem como o interior das descontinuidades, estejam absolutamente limpas e isentas de contaminantes.
- Os materiais penetrantes, emulsificadores e reveladores são tóxicos e requerem precauções no seu manuseamento;
- Sempre que não seja possível a remoção total do penetrante depois do ensaio, corre-se o risco de explosão, se os resíduos do penetrante entrarem em contacto com o oxigénio, pelo que é necessário recorrer a materiais penetrantes compatíveis com o oxigénio;
- Não é um método aplicável a materiais porosos, como espumas e borrachas.

12 ENSAIO POR MAGNETOSCOPIA

O método de inspeção por partículas magnéticas (magnetoscopia) é utilizado na deteção de descontinuidades superficiais e subsuperficiais em peças de materiais ferromagnéticos, isto é, peças susceptíveis de serem magnetizadas. Este processo aplica-se, genericamente, em quatro fases:

- Magnetização da peça;
- Aplicação de partículas magnéticas;
- Inspeção;
- Desmagnetização.

Antes da operação de magnetização das peças, estas devem ser limpas. O processo de limpeza não deve provocar alterações de qualquer espécie nas peças a inspecionar. São vários os processos de limpeza habitualmente utilizados:

- Limpeza alcalina, isto é, com a utilização de um líquido alcalino;
- Desengorduramento por vapor de solventes;
- Métodos mecânicos.

Após as operações de inspeção e desmagnetização, as peças deverão ser limpas novamente, sobretudo, nos casos em que os resíduos dos materiais magnéticos influenciem a posterior utilização da peça.

12.1 DEFINIÇÕES

Para uma melhor compreensão do ensaio por magnetoscopia, passa-se a apresentar algumas definições básicas sobre magnetismo.

- Materiais ferromagnéticos - os materiais como o aço ou o cobalto, que são fortemente atraídos por ímanes, são denominados ferromagnéticos. Quando a força de magnetização deixa de atuar, estes materiais mantêm alguma magnetização.
- Magnetismo - é a propriedade que apresentam alguns materiais, como o aço, de atraírem outros materiais ferromagnéticos.
- Campo de fuga - linhas de força que saem da peça devido a uma descontinuidade.
- Fluxo magnético - conjunto de linhas de força.

- Permeabilidade - facilidade com que um material é magnetizado.
- Retentividade - propriedade que um material magnético tem de se manter magnetizado, após a remoção da força de magnetização.
- Magnetismo residual - trata-se do campo magnético que permanece na peça, após a anulação ou redução da força magnética.

12.2 PRINCÍPIOS DO ENSAIO

O ímã da Fig. IV.1 está magnetizado circularmente. Desta forma, não existe campo de fuga e a peça não atrai materiais magnéticos.

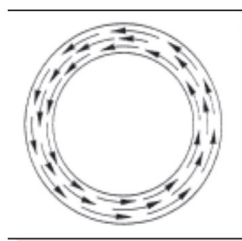


Fig. 59 - Ímã em forma de anel

No entanto se no anel, existir uma descontinuidade ou defeito, que seja atravessado pelas linhas de força do campo magnético (Fig. 60), surgem 2 pólos (norte e sul) que vão atrair qualquer partícula magnética. Este fenómeno dá a indicação de uma descontinuidade na peça.

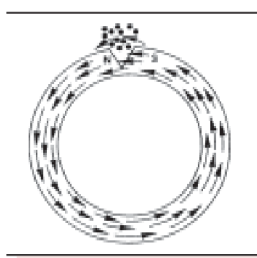


Fig. 60 - Ímã em forma de anel com uma fissura

Este é o princípio que explica a formação de indicações por magnetização circular. Perante um ímã em barra, este apresenta dois pólos, Norte e Sul, e as linhas de força da peça mantêm-se no sentido Sul - Norte, conforme se mostra na Fig. 61.

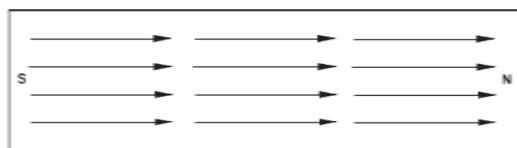


Fig. 61 - Ímã em forma de barra

Qualquer descontinuidade que exista na peça, atrairá partículas magnéticas (Fig. 62).

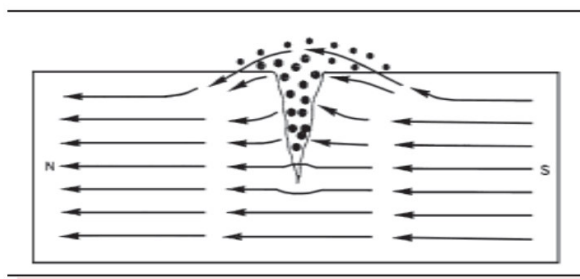


Fig. 62 - Ímã em forma de barra com uma fissura

A atracção será tanto maior, quanto maior for o campo de fuga.

Desta forma, tem-se:

- Campos de fuga intensos $\Rightarrow$ descontinuidades grandes $\Rightarrow$ indicações fortes;
- Campos de fuga pouco intensos $\Rightarrow$ pequenas descontinuidades $\Rightarrow$ fracas indicações.

Principais vantagens

- Simplicidade de aplicação;
- Deteção de descontinuidades pouco abaixo da superfície da peça;
- Deteção de descontinuidade na superfície da peça;
- Aplicação do ensaio em peças de geometrias complexas.

Principais desvantagens

- Apenas pode ser aplicado a materiais ferromagnéticos;
- Em certas condições, pode ser necessário uma operação de desmagnetização.

12.3 FASES DO ENSAIO POR MAGNETOSCOPIA

O ensaio de magnetoscopia requer quatro etapas distintas:

- Magnetização das peças;
- Aplicação das partículas magnéticas;
- Inspeção;
- Desmagnetização.

De seguida, descrever-se-á de cada uma das fases acima indicadas.

Métodos de magnetização de peças

Os campos magnéticos podem ser criados de várias maneiras, nomeadamente por:

- Corrente elétrica;
- Ímanes.

A magnetização por corrente elétrica é o método mais utilizado para magnetizar peças que vão ser inspecionadas por partículas magnéticas. A corrente elétrica pode ser utilizada de duas formas distintas, quando se magnetiza uma peça:

- Magnetização circular - passagem da corrente através da peça.
- Magnetização longitudinal - introdução da peça no núcleo de uma bobina.

A definição de magnetização circular advém do facto das linhas de força do campo magnético produzido, pela corrente elétrica que atravessa um condutor apresentarem uma trajetória circular.

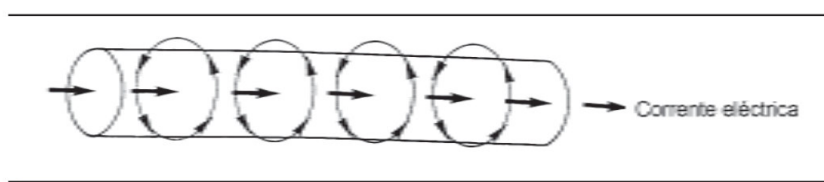


Fig. 63 - Magnetização circular

A definição de magnetização longitudinal vem do facto de que, quando uma corrente elétrica passa numa bobina, se produz um campo magnético no interior deste, cujas linhas de força são paralelas ao eixo da bobina.

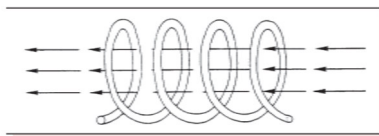


Fig. 64 - Linhas de força numa bobina percorrida por corrente elétrica

Colocando uma peça de material ferromagnético no interior da bobina, esta ficará magnetizada longitudinalmente, conforme se vê na Fig. 64. Qualquer descontinuidade que exista na peça e que esteja posicionada transversalmente, é detetada pela formação de pequenos pólos magnéticos.

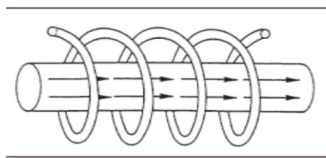


Fig. 65 - Campo magnético longitudinal numa peça colocada no interior de uma bobina

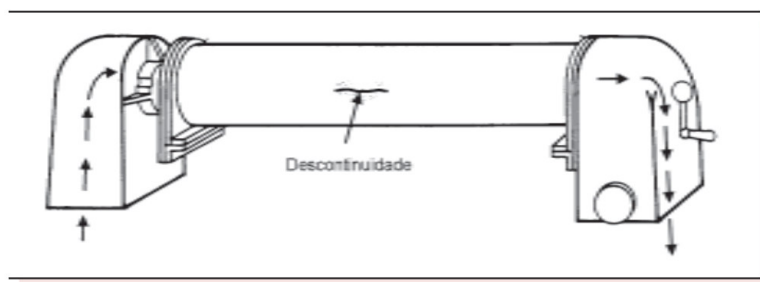


Fig. 66 - Formação de polos magnéticos causados por descontinuidade posicionada transversalmente ao sentido do campo magnético

Estes pólos magnéticos atraem as partículas magnéticas, dando a indicação da descontinuidade ou defeito.

Na magnetização por corrente elétrica, utilizam-se três tipos de corrente elétrica:

- Corrente contínua;

- Corrente alternada;
- Corrente retificada em meia-onda.

A corrente contínua gera campos magnéticos mais profundos do que os criados por corrente alternada.

Desta forma, quando se utiliza a corrente contínua, podem detectar-se descontinuidades abaixo da superfície das peças. Contudo, existem algumas desvantagens na utilização deste tipo de corrente.

Desvantagens da utilização da corrente contínua:

- Nos campos magnéticos criados por corrente contínua, as partículas magnéticas não têm mobilidade e por isso, permanecem nos pontos onde foram colocadas. Este facto dificulta muito a deteção de defeitos.

Utiliza-se a corrente alternada sempre que se quer detetar descontinuidades superficiais. Este tipo de corrente provoca uma penetração fraca dos campos induzidos. Vantagem da utilização da corrente alternada:

- Promove a mobilidade das partículas magnéticas, o que facilita a deteção de defeitos.

A corrente retificada de meia onda, é obtida a partir de uma corrente alternada, à qual meio ciclo é retirado, conforme se mostra na Fig. 67.

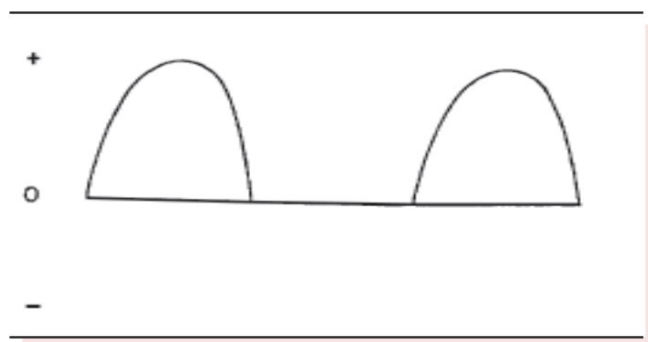


Fig. 67 - Corrente retificada em meia-onda

Vantagens da utilização da corrente retificada:

- Grande poder de penetração, o que permite a deteção de descontinuidades abaixo da superfície, como acontece com a corrente contínua;
- Promove a mobilidade das partículas, como acontece com a corrente alternada.

Magnetização por ímanes

Na magnetização por ímanes, utiliza-se, geralmente, dois tipos de ímanes:

- Ímanes permanentes;
- Eletroímanes.

Os ímanes permanentes são utilizados quando não se dispõe de uma fonte de energia elétrica. A utilização deste tipo de ímanes, está limitada quanto à magnetização de grandes superfícies.

O eletroíman é constituído por um núcleo em forma de U e por uma bobina enrolada, conforme se mostra na Fig. 68.

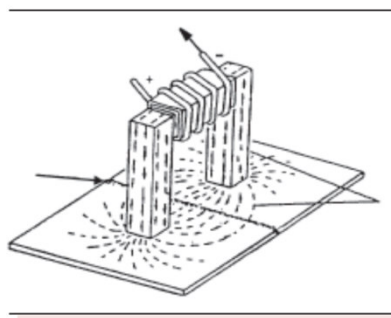


Fig. 69 – Eletroíman

Ao contrário dos ímanes permanentes, estes podem ser ligados e desligados, o que permite:

- Facilidade na colocação e remoção do eletroímã da peça;
- Magnetização de peças de maiores dimensões.

Partículas magnéticas

As partículas magnéticas são utilizadas logo após a fase de magnetização das peças. Estas vão permitir a identificação da descontinuidade superficial ou subsuperficial. São constituídas por misturas de materiais ferromagnéticos, como o ferro e o óxido de ferro. As partículas ferromagnéticas podem ser aplicadas de duas formas:

- Via seca;
- Via húmida.

Na aplicação por via seca, as partículas são fornecidas na forma de pó e apresentam várias cores. Esta aplicação utiliza-se, principalmente, na deteção de descontinuidades abaixo da superfície das peças, na inspeção de soldadura e peças vazadas (fundidas). As principais vantagens deste método são as seguintes:

- Deteção de descontinuidades abaixo da superfície das peças;
- Fácil de utilizar em peças de grandes dimensões;
- Utiliza equipamento portátil;
- Boa mobilidade das partículas.

As principais desvantagens deste método são as seguintes:

- Menor sensibilidade para descontinuidades muito pequenas e profundas;
- Difícil de aplicar em peças de geometria complexa;
- Lento para conjuntos de peças;
- Difícil de automatizar.

Na aplicação de partículas ferromagnéticas por via húmida, utilizam-se partículas coloridas e partículas fluorescentes, em suspensão em água ou em produtos derivados do petróleo. As principais vantagens deste método são as seguintes:

- Mais sensível na deteção de descontinuidades superficiais;

- Fácil de recobrir peças de grandes dimensões ou de geometria complexas;
- Adequado na inspeção de séries de peças;
- Maior facilidade na recuperação de líquido em excesso;
- Fácil de automatizar.

As principais desvantagens deste método são as seguintes:

- Menor sensibilidade na deteção de descontinuidades subsuperficiais;
- Exige circuitos de circulação e agitação;
- É mais difícil de remover das peças;
- Exige o controlo da concentração da suspensão.

Inspeção

Após a magnetização das peças e posterior aplicação das partículas electromagnéticas, entra-se na fase de inspeção das possíveis descontinuidades.

A inspeção de um ensaio por magnetoscopia pode dividir-se em três etapas:

- Formação de uma indicação na peça;
- Interpretação dessa indicação;
- Avaliação da dita indicação.

A formação das indicações na peça, dependem dos métodos de magnetização que foram descritos anteriormente. A interpretação das indicações consiste em determinar as causas do aparecimento das mesmas. Assim, se a indicação for provocada por uma descontinuidade superficial, as partículas ferromagnéticas aderem à superfície num padrão bem definido, por efeito do campo de fuga existente.

Por outro lado, se a indicação é provocada por uma descontinuidade abaixo da superfície, as partículas ferromagnéticas apresentam um padrão menos nítido devido aos campos de fuga serem mais fracos. A avaliação consiste em determinar se a

indicação é prejudicial para a peça e se esta deve continuar em serviço, ser rejeitada ou ser recuperada.

Em soldadura, por exemplo, as descontinuidades podem ter as seguintes origens:

- Porosidades;
- Fissuras;
- Inclusões;
- Faltas de fusão.

Desmagnetização

As peças devem ser desmagnetizadas sempre que os campos residuais:

- Interfiram com operações de soldadura;
- Afetem instrumentos;
- Dificultem o movimento das peças ou comprometam o comportamento destas em serviço.

Não se desmagnetizam peças em que:

- O material apresente baixa retentividade;
- A magnetização seja necessária em operações posteriores.

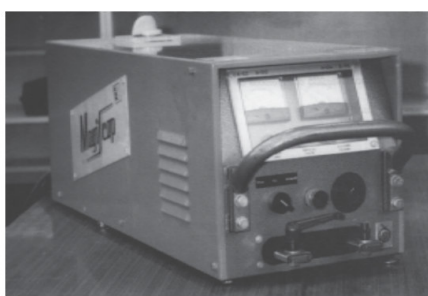
Normalmente, são utilizados dois métodos de desmagnetização:

- Desmagnetização com corrente alternada;
- Desmagnetização com corrente contínua.

A desmagnetização com corrente alternada é o método mais usual na desmagnetização de peças de pequenas e médias dimensões. As peças a desmagnetizar são colocadas no interior de uma bobina onde circula corrente

alternada com frequências entre os 50 e os 60 Hz. Deslocando a peça do interior do núcleo da bobina para o exterior, o campo magnético vai diminuindo.

A Desmagnetização por corrente contínua utiliza-se em peças de grandes dimensões, devido ao maior poder de penetração deste tipo de corrente. Na peça a desmagnetizar é colocada uma corrente contínua. Com a periodicidade de 1 segundo, o sentido da corrente, é invertido, desmagnetizando-se toda a peça.



Na Fig. 70 - Exemplo de equipamento de magnetoscopia.

13 ENSAIO POR ULTRA-SONS

13.1 INTRODUÇÃO

A utilização dos ultra-sons, como método de ensaio não destrutivo, baseia-se na transmissão de ondas sonoras de elevada frequência no material da peça a ensaiar. Essas ondas refletem-se ao incidirem numa superfície de separação de dois meios com características acústicas diferentes (interface), como por exemplo, a superfície de uma descontinuidade. As reflexões, quando recebidas, permitem detetar e localizar na peça, os locais refletores, através do conhecimento do tempo de percurso, velocidade de propagação do som e ângulo de emissão.

13.2 OBJECTIVOS DO ENSAIO

O objetivo da inspeção por ultra-sons é assegurar a fiabilidade dos produtos:

- Detetando defeitos em todo o volume;
- Identificando a natureza dos defeitos;
- Distinguindo materiais aceitáveis e não aceitáveis, de acordo com critérios estabelecidos;
- Medindo espessuras.

Principais vantagens

- Elevado poder de penetração que permite a deteção de descontinuidades existentes no interior das peças, numa vasta gama de espessuras e materiais;
- Sensibilidade elevada na deteção de descontinuidades muito pequenas;
- Precisão na determinação da localização, dimensão e forma das descontinuidades;
- Não exige mais do que uma superfície acessível, embora seja recomendável a sondagem, a partir de diversas superfícies;
- Aplicável em inspeções de manutenção;
- Equipamento, normalmente, portátil.

Principais desvantagens

- Exige operadores muito experientes;
- Difícil de aplicar a peças de geometria complexa e/ou de espessuras muito pequenas;
- Dificuldade de aplicação em materiais de grande atenuação acústica. Atenuação acústica é a capacidade que os materiais têm de atenuar as ondas sonoras e ultra sonoras.
- Apresenta por vezes, dificuldades na interpretação de defeitos superficiais, cuja distinção de refletores atribuídos à geometria é difícil;
- Exige a utilização de acoplantes.

13.3 PRINCÍPIO FÍSICO DO ENSAIO

A transmissão das vibrações ultra-sonoras, através de um material, está relacionada com as propriedades elásticas. Ao bater numa chapa com um martelo, provoca-se um deslocamento para baixo. Como o metal é elástico, em seguida, haverá um deslocamento para cima. A sequência destes dois movimentos é um ciclo, ou seja, dois deslocamentos completos em sentidos opostos.

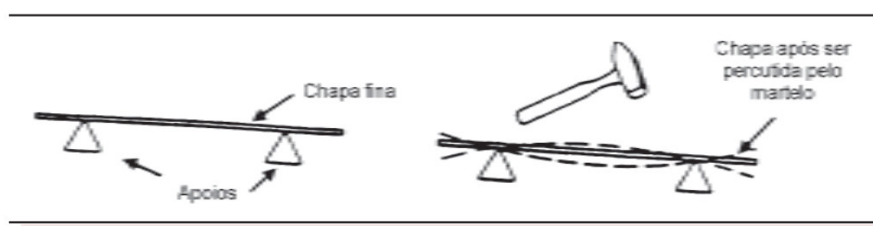


Fig. 71 - Transmissão de vibrações ultra-sonoras

"O período é o tempo necessário para percorrer um ciclo".

O número de ciclos, em um dado período de tempo, é a frequência. A unidade de frequência é o Hertz (HZ), que é um ciclo por segundo. Normalmente, o ouvido humano capta sons entre 20 e 20 000 Hz.

Na inspeção ultra-sonora as frequências estão, geralmente, compreendidas entre 0,2 a 25 MHz (1MHZ= 1 milhão de ciclos por segundo). Para produzir as altas frequências ultra-sonoras no material a inspecionar, utilizam-se sondas.

Nas sondas, existe um material piezoelétrico que converte energia elétrica em energia mecânica e vice-versa. As sondas podem enviar e receber energia.

O aço, a água e o óleo são bons transmissores dos ultra-sons. O ar não é bom transmissor devido à sua pequena densidade, o que dificulta a transmissão da energia sonora de partícula para partícula. Daí a utilização de óleo ou massa consistente entre a sonda e a peça a inspecionar (acoplantes) por forma a garantir um perfeito acoplamento da sonda à peça a ensaiar.

13.4 EQUIPAMENTO DE ULTRA-SONS

O equipamento de ultra-sons gera impulsos elétricos de grande voltagem e pequeníssima duração, que aplicados ao cristal de sonda, são transformadas em vibrações mecânicas. Uma grande percentagem da energia ultra-sonora é refletida imediatamente na superfície em que se encontra aplicada a sonda. A parte restante vai ser refletida tanto pela superfície posterior da peça, como por eventuais descontinuidades.

13.5 TIPOS DE SISTEMAS

Existem basicamente dois sistemas de inspeção por ultra-sons.

Sistema do eco pulsado

O sistema do eco pulsado é o mais frequentemente utilizado. Uma sonda emite ondas, durante um curto espaço de tempo, que são transmitidas à peça em inspeção. As ondas são refletidas ou por descontinuidades ou por superfícies da peça. A mesma sonda funciona como emissor e recetor. As reflexões recebidas, também chamadas de eco, são visualizadas no écran (tubo de raios catódicos).

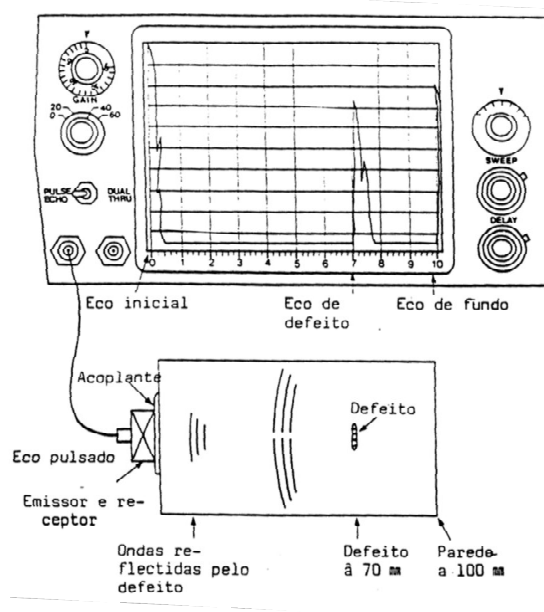


Fig. 72 - Sistema do eco pulsado

Há duas grandes vantagens neste sistema

- Acesso, unicamente, por um dos lados da peça;
- Localização precisa dos refletores.

Sistema por transparência

São necessárias duas sondas: uma funciona como emissor e a outra como recetor.

A qualidade do material em inspeção é medida em termos de energia perdida pelo feixe ultra-sonoro, ao longo do seu percurso. Este sistema não permite localizar descontinuidades, embora se possa detetar a sua presença pela diminuição de quantidade de energia sonora recebida.

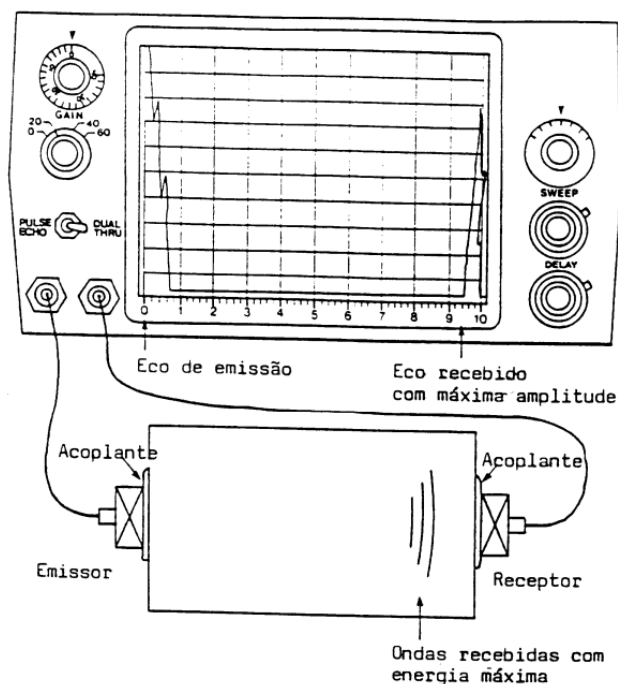


Fig. 73 - Sistema por transparência

Existem duas grandes vantagens neste sistema:

- Detecção de defeitos próximos da superfície. Defeitos de alguns décimos de milímetro, junto da superfície, podem ser detetados;
- Inspeção de grandes espessuras.

Na prática, é, normalmente, mais adequado utilizar o sistema de eco pulsado e não o sistema por transparência.



Fig. 74 – Equipamentos digitais de ultra-sons



Fig. 75 – Equipamentos de ultra-sons

Tipos de sondas

A enorme variedade de sondas disponíveis tem soluções construtivas ajustadas a objetivos bem definidos, possuindo características distintas conforme o fabricante. Podem ser classificados como:

- Sondas direitas;
- Sondas angulares.

Esta classificação tem em conta o ângulo com que o som é introduzido na peça. Enquanto as sondas direitas, introduzem o som numa direção perpendicular à superfície, as sondas angulares fazem-no numa direção que forma um ângulo maior do que zero graus com a mesma superfície.

Condições de superfície

No controlo por ultra-sons, a condição de superfície tem bastante influência, manifestando-se esta, por uma perda de sensibilidade; por queda da altura dos ecos e por diminuição de resolução, devido à tendência de alargamento do eco da sonda. Uma superfície irregular provoca desgaste prematuro da sonda, sendo, importante a regularização da superfície de assentamento da sonda.

É igualmente importante, retirar a sujidade da superfície, já que esta faz variar a espessura de camada do acoplante, ou mesmo provocar uma camada de ar, que não permite a transmissão de som. Camadas de óxido ou de tinta, quando não aderentes, são bastantes prejudiciais por estarem associadas a bolsas de ar, evitando, assim, a propagação do som.

Acoplantes

O ar não é um meio adequado para transferir as vibrações ultra-sonoras para os líquidos ou sólidos. Por isso, é necessário utilizar um acoplante para que a energia gerada pela sonda se propague à peça em inspeção. Deste modo, a finalidade principal do acoplante é assegurar a ligação acústica entre a sonda e a peça a controlar. O acoplante tem várias funções, nomeadamente:

- Excluir todo o ar entre as superfícies, visto este ser um mau condutor de som;
- Facilitar o movimento da sonda na superfície a controlar (efeito lubrificante), mesmo que nesta existam irregularidades;
- Ser fácil de aplicar e de remover, não sendo nocivo para a peça.

Os acoplantes devem ainda ter as seguintes propriedades:

- Aptidão para molhar, tanto a sonda como a peça a inspecionar;
- Não serem corrosivos, higroscópios ou tóxicos;
- Homogéneos e isentos de bolhas;

- Viscosidade suficiente para não escorrerem nas peças.
- Possuírem alta impedância acústica. Impedância acústica é a capacidade dos materiais resistirem à propagação do som e ultra som.

14 ENSAIO RADIOGRÁFICO

14.1 INTRODUÇÃO

A radiografia industrial é um método de ensaio não destrutivo, baseado na utilização de radiações penetrantes, o qual continua a ser um dos métodos de maior aplicação e de uso mais generalizado. A técnica operatória, quando corretamente aplicada, origina informações claras, objetivas e fiáveis, através de um "documento" - a radiografia. Este documento pode ser arquivado e posteriormente consultado, quer com o objetivo de acompanhar um defeito conhecido e estudar a sua evolução e comportamento em serviço, quer como contraprova para análise de eventuais colapsos ou falhas.

A utilização das radiações X ou gama (também genericamente designadas por radiações ionizantes) devem ser objeto de cuidados especiais pois podem causar danos aos seres vivos que a estas estejam expostos. Assim, os radiologistas devem conhecer e aplicar com rigor as normas de segurança estabelecidas.

14.2 PRINCÍPIO DO ENSAIO DE RADIOGRAFIA

A radiografia é um método de inspeção de peças por "transparência", baseado na absorção desigual das radiações ionizantes. As radiações, ao atravessarem uma dada espessura do material, sofrem uma maior absorção do que ao atravessarem uma menor espessura do mesmo material. Logo, a intensidade da radiação emergente varia em função da espessura atravessada.

O registo destas variações de intensidade, feito habitualmente em filme, fornece um meio de inspeção interna da matéria e das suas descontinuidades. A imagem latente,

produzida no filme, fornece, após processamento, um cliché (imagem em negativo). As espessuras menores e as de material menos denso originam zonas mais escuras no filme.

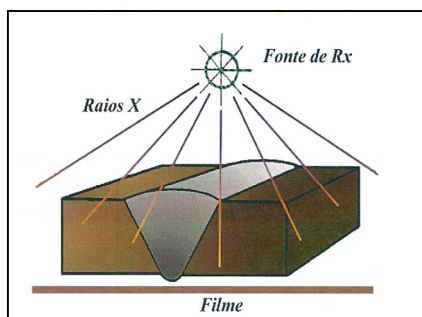


Fig. 76 – Princípio da radiografia

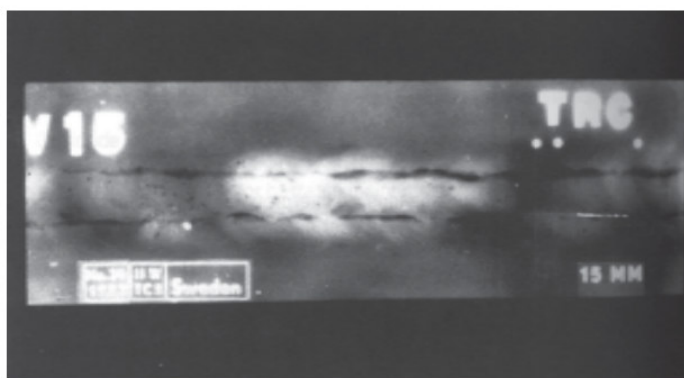


Fig. 77 - Imagem de filme com porosidades e bordos queimados

14.3 VANTAGENS DA RADIOGRAFIA

- Pode ser usada na maior parte dos materiais;
- Permite uma imagem em registo permanente;
- Inspecciona o interior dos materiais;
- Revela os erros da fabricação;
- Evidencia descontinuidades estruturais.

14.4 LIMITAÇÕES DA RADIOGRAFIA

- Dificil aplicação em objetos de geometria complexa;
- Necessidade de acesso às duas faces do objeto;

- Difícil ou impossível a deteção de defeitos lamelares paralelos ao filme;
- É um método relativamente caro;
- É necessário utilizar procedimentos de segurança.

Como as radiações não podem ser detetadas por qualquer um dos nossos cinco sentidos, exigem-se rigorosas medidas de segurança. As radiações podem causar danos ou mesmo destruição das células do corpo humano. É essencial que os técnicos de radiografia tenham sempre em atenção o perigo da radiação e o conhecimento das regras de segurança. Terão de ser usados detetores de radiações.

O exame radiográfico normalmente requer:

- A exposição de um filme para registar os raios X ou gama que penetram no objeto;
- Revelação do filme exposto;
- Interpretação da radiografia obtida.

Os raios X e gama possuem a propriedade de penetrarem nos materiais. Ao passarem através de matéria, a quantidade de radiação absorvida é função de espessura e da densidade nesse ponto. Quando esta variação é registada no filme, é observável a imagem da estrutura interna do material

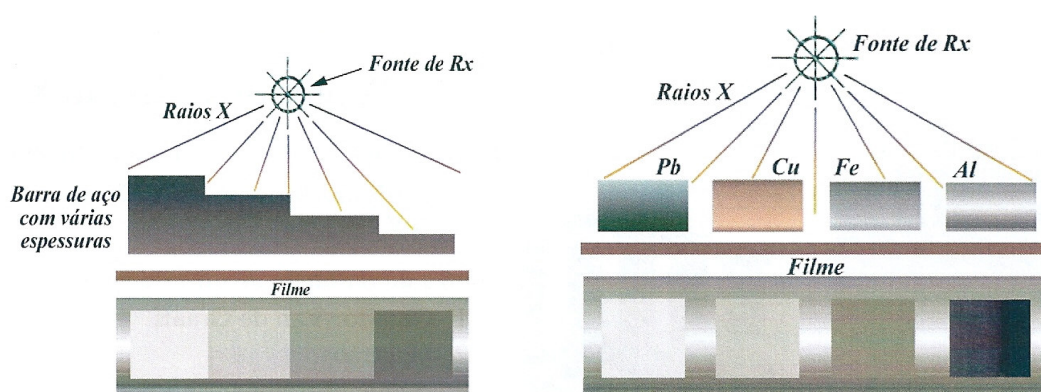


Fig. 78 – Exemplos de resultados em diferentes metais

15 GLOSSÁRIO

Capilaridade	Capilaridade ou ação capilar é a propriedade física que os fluidos têm de subir ou descer em tubos extremamente finos. Assim como de penetrar em espaços muito apertados.
Deformação elástica (elasticidade)	Propriedade mecânica de certos materiais, de sofrer deformações reversíveis, ou seja, deformações elásticas, quando se encontram sujeitos à ação de forças exteriores, e de recuperar a forma original se estas forças exteriores se eliminam.
Deformação plástica	Quando o material submetido a uma determinada tensão se deforma permanentemente, mantendo a deformação mesmo quando o carregamento é retirado
Ductilidade	Propriedade que representa o grau de deformação que um material suporta até o momento de sua fratura.
Dureza	É uma propriedade dos materiais sólidos que pode ser avaliada através resistência à deformação plástica localizada.
Estricção	Diminuição da área de secção reta de um provete, quando sujeito ao ensaio de tração uniaxial. É representativa da ductilidade do material.
Filiação	Linha reta (fila), onde são efetuadas as medições da dureza
Indentação	Marca de penetração, obtida no ensaio de dureza de metais.
Proвете	Ou corpo de prova, é uma amostra do material a ensaiar, preparado por corte e/ou maquinagem, para ser sujeito a ensaios.
Resiliencia	Capacidade de um material de absorver energia quando é deformado elasticamente e libertar essa energia ao ser descarregado.
Resistência mecânica	Capacidade do material suportar solicitações externas, sem que estas lhe causem deformações plásticas (permanentes).
Rigidez	Resistência de um corpo à deformação por uma força aplicada. É a medida da resistência oferecida por um corpo a uma deformação.
Têmpera	Aumento da dureza de um aço, através de aquecimento controlado e arrefecimento rápido.
Tenacidade	Capacidade de um material absorver energia (impacto ou aperto) e deformar permanentemente (plasticamente) sem fraturar.

16 FONTES BIBLIOGRÁFICAS

Fotografias, esquemas, gráficos e tabelas provenientes das seguintes obras:

- Ensaaios Destrutivos – Guia do Formando, Coleção MODULFORM – Formação Modular, autor J. F. Oliveira Santos, Copyright 2000, IEFP – Instituto do Emprego e Formação Profissional, Direção de Serviços de Recursos Formativos. Depósito Legal 156531/00, ISBN 972-732-605-6.
- Ensaaios Não Destrutivos – Guia do Formando, Coleção MODULFORM – Formação Modular, autor J. F. Oliveira Santos, Copyright 1999, IEFP – Instituto do Emprego e Formação Profissional, Direção de Serviços de Recursos Formativos. Depósito Legal 141254/99, ISBN 972-732-519-X.

17 WEBGRAFIA

- [American Welding Society \(aws.org\)](http://aws.org) (site apenas em língua inglesa)
- [END PORTUGAL – Ensaaios não destrutivos e controlo de qualidade](#)
- [Ensaio destrutivo – Wikipédia, a enciclopédia livre \(wikipedia.org\)](http://wikipedia.org)
- [Ensaio não destrutivo – Wikipédia, a enciclopédia livre \(wikipedia.org\)](http://wikipedia.org)
- [ESAB | Início](#)
- [Fronius - Portinter](#) (representante comercial em Portugal para a marca Fronius)
- [ISQ - Centro de Interface e Tecnologia](#)
- [Relacre - Associação de Laboratórios Acreditados de Portugal](#)