

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Marcos Antonio Batista Camilo Junior

**ESTUDO DE MATERIAIS E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO PARA BARRAS DE PROTEÇÃO
LATERAL VEICULAR**

Taubaté – SP
2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Ficha catalográfica elaborada pelo
SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

C183e Camilo Junior, Marcos Antonio Batista
Estudo de materiais e processos de fabricação para barras de
proteção lateral veicular / Marcos Antonio Batista Camilo Junior. - 2008.
89f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Taubaté, Departamento de
Engenharia Mecânica, 2008.
Orientação: Prof. Dr. José Rubens de Camargo, Departamento de
Engenharia Mecânica.

1. Barras de proteção. 2. Veículo. 3. Processos de fabricação.
4. Aço bifásico. 5. Aço de baixo carbono. I. Título.

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Marcos Antonio Batista Camilo Junior

**ESTUDO DE MATERIAIS E PROCESSOS DE
FABRICAÇÃO PARA BARRAS DE PROTEÇÃO
LATERAL VEICULAR**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Materiais e processos de fabricação.

Orientador: Prof. Dr. José Rubens de Camargo

Taubaté – SP

2008

MARCOS ANTONIO BATISTA CAMILO JUNIOR

**ESTUDO DE MATERIAIS E PROCESSOS DE FABRICAÇÃO PARA BARRAS
DE PROTEÇÃO LATERAL VEICULAR**

Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre pelo curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté.

Área de Concentração: Materiais e processos de fabricação.

Data: _____

Resultado: _____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Rubens de Camargo - Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

Prof. Dr. Gilberto Walter Arenas Miranda - Universidade de Taubaté

Assinatura: _____

Prof. Dr. Marcelo dos Santos Pereira - Universidade Estadual Paulista

Assinatura: _____

À Deus pela saúde e condições concedidas para que eu pudesse realizar mais esta etapa de minha vida, aos meus amados pais Marcos Antonio Batista Camilo e Maria Luiza Bilha Camilo pela esperança e pela proteção.

À minha esposa preparada por Deus para a minha vida, Tatiane Cristina Miranda Camilo, que no início deste trabalho ainda era namorada.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não poderia ser concluído sem a ajuda de diversas pessoas, às quais presto minha homenagem:

Ao meu orientador Prof. Dr. José Rubens de Camargo, pela amizade e estímulo durante esta jornada.

Ao amigo Nauricio Ernesto Rodrigues Raimondo, pelo apoio no início do curso.

Ao amigo Flávio Rozzino da empresa Gestamp Metalbages, pelo apoio na execução dos ensaios dos materiais e construção do trabalho.

Aos companheiros de Mestrado, Maurício Dias Cardoso, Leonardo Miron e Alexandre Arthuzo.

Aos professores, pelos conhecimentos proporcionados.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

Estudo de Materiais e Processos de Fabricação para Barras de Proteção Lateral Veicular

Resumo

As barras de proteção lateral veicular são projetadas para protegerem o motorista e os passageiros em uma eventual colisão nas laterais do veículo. Nas montadoras, a homologação de componentes estruturais da carroceria se dá por meio de ensaio chamado de “Crash-test”. Exceto as novas descobertas e novas construções de carroceria veicular com materiais como alumínio ou plástico, as barras de proteção lateral atualmente são feitas em aço, podendo variar na geometria, na construção e conseqüentemente no processo de fabricação. Devido à existência destas opções, este trabalho compara por meio de ensaios metalúrgicos, dois tipos de barras de proteção lateral. A primeira, sendo em aço bifásico de baixa liga, baixa densidade, galvanizado à quente, microestrutura martensítica e matriz ferrítica que possui resistência a tração de 500 à 1.000 MPa, de processo de fabricação estampado e a outra barra de proteção lateral na forma de tubo de aço de baixo carbono com costura e resistência à tração de 490 à 630 MPa. O material da barra de aço estampado é importado, já a barra de proteção lateral feita com tubo de aço baixo carbono encontra-se com facilidade no mercado brasileiro. Neste trabalho, a metodologia aplicada foi comparar por meio de ensaios práticos em laboratório, tais como: ensaios de flexão, dureza, tração, química, metalografia e corrosão. Após análise dos resultados, os dois tipos de barras de proteção lateral veicular atenderam a mesma especificação

solicitada: o aço bifásico utilizado na barra estampada não apresentou defeitos após o teste de flexão, atendeu a especificação para os resultados do ensaio de tração, obteve maior dureza, melhor desempenho no ensaio de corrosão além de ter apresentado uma microestrutura mais refinada se comparado ao aço baixo carbono utilizado na barra tubular.

Palavras-chave: Barras de proteção. Veículo. Processos de fabricação. Aço bifásico. Aço de baixo carbono.

Study of Materials and Processes of Manufacture for Vehicular Door

Beam

Abstract

The bars of lateral protection are designed to protect the driver and the passengers in an eventual collision on the lateral of the vehicle. In the car factories, the homologation of structural components of the body are made by means of test called "Crash-test". Except the new discoveries and new constructions of body with materials as aluminum or plastic, the bars of lateral protection currently are made in steel, being able to vary in geometry, the construction and consequently in the process of manufacture. Due to existence of these options, this work compares by means of metallurgy tests, two types of bars of lateral protection. The first one, being in dual-phase steel of low alloy, low density, hot deep galvanized, microstructure martensitic and matrix ferritic that possesses tensile strength of 500 to 1.000 MPa, of production process stamped and the other bars of lateral protection with form of steel welded tube of low carbon and tensile strength of 490 to 630 MPa. The material of the bar of stamped steel is imported, already the bar of lateral protection made with steel tube low carbon meets with easiness in the Brazilian market. In this work, the applied methodology was to compare by means of practical tests in laboratory, such as: flexing test, hardness, traction, chemistry, metallography and corrosion. After analysis of the results, the two types of bars of lateral protection to attend the same requested specification: the used dual-phase steel in the stamped bar did not present defects after the flexing test, it was according the specification for the results of the tensile test, got greater hardness,

better performance in corrosion and presented a microstructure refined if compared with the steel low carbon used in the tubular bar.

Key-words: Protection bar. Vehicle. Manufacturing process. Dual-phase steel. Low carbon steel.

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

MPa	Mega Pascal
GTAW	<i>Gas Tungsten Arc Welding</i>
SMAW	<i>Shielded Metal Arc Welding</i>
SAW	<i>Submerge Arc Welding</i>
GMAW	<i>Gas Metal Arc Welding</i>
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
EN	<i>Europäische Norm</i>
μm	micrometro
ε_w	Deformação lateral
ε_t	Deformação de espessura
r	Coeficiente de anisotropia média ou coeficiente de Lankford
w_0	Largura inicial
w_f	Largura final
Δr	Coeficiente de anisotropia planar
ε_l	Deformação verdadeira ao longo do comprimento
l_0	Comprimento inicial
l_f	Comprimento final
CCC	Cúbico de corpo centrado
Cl	Cloro
Pb	Chumbo
P	Fósforo
CO ₂	Dióxido de carbono
FeO	Óxido de ferro
CO	Óxido de carbono

mm	Milímetro
Ø	Diâmetro
ABB	Asea Brown Boveri
mm/s	Milímetros por segundo
VW	Volkswagen
KN	Kilonewton
$F_{max.}$	Força máxima
J	Joule
CP	Corpo-de-prova
HRA	Escala de dureza Rockwell A
HB	Escala de dureza Brinell
HV	Escala de dureza Vickers
C	Carbono
Si	Silício
Mn	Manganês
S	Estanho
Al	Alumínio
Nb	Nióbio
V	Vanádio
Cr	Cromo
Mo	Molibidênio

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Estampagem profunda	24
Figura 2	- Copo estampado	24
Figura 3	- Esquema da soldagem GMAW	34
Figura 4	- Gráfico da intensidade de corrente x velocidade de alimentação	36
Figura 5	- Intensidade de corrente (A) x velocidade de alimentação (mm/min.)	36
Figura 6	- Ilustração de “stick-out”	38
Figura 7	- Gráfico da relação entre o conteúdo de argônio da mistura Ar/CO ₂ e a frequência de transferência de gotas	40
Figura 8	- Mordedura no pé da solda	45
Figura 9	- Porosidade do tipo agrupada	46
Figura 10	- Falta de penetração	46
Figura 11	- Gráfico tensão-deformação	49
Figura 12	- Fluxograma da metodologia aplicada	54
Figura 13	- <i>Blank</i> retangular	55
Figura 14	- Alimentador de <i>blanks</i> para estampagem da barra	56
Figura 15	- Estampagem da barra de proteção lateral	56
Figura 16	- Barra de proteção lateral estampada acabada	57
Figura 17	- Suportes estampados que posteriormente são soldados nas extremidades da barras tubulares	57
Figura 18	- Tubo de aço com costura	58
Figura 19	- Célula de montagem da barra de proteção lateral	58

	veicular tipo tubular	
Figura 20	- Dispositivo de montagem da barra de proteção lateral veicular tipo tubular	59
Figura 21	- Robô ABB da empresa Gestamp para o processo de soldagem	59
Figura 22	- Secção Transversal no Cordão de Solda	60
Figura 23	- Barra de proteção lateral tubular acabada	60
Figura 24	- Gráfico da curva de flexão padrão	61
Figura 25	- Esquema de apoio da barra para teste de flexão	62
Figura 26	- (1) Máquina de tração, (2) Dispositivo de flexão, (3) Computador acoplado	62
Figura 27	- Durômetro Panambra Pantec RASN	63
Figura 28	- Dimensões dos corpos-de-prova	64
Figura 29	- Máquina universal de ensaios EMIC DL 10000	65
Figura 30	- Espectrômetro utilizado no ensaio de análise química	66
Figura 31	- Equipamento para testes de corrosão	67
Figura 32	- Barra de proteção lateral estampada ensaiada	69
Figura 33	- Barra de proteção lateral tubular ensaiada	69
Figura 34	- Resultados do teste de flexão	71
Figura 35	- Resultados do ensaio de dureza	72
Figura 36	- Resultados do teste de tração	73
Figura 37	- Fotomicrografia. Aço EN 10142 da barra estampada. Aumento 500x. Ataque nital 2%	75
Figura 38	- Fotomicrografia. Aço carbono EN 10305-2 da barra	75

tubular. Aumento 500x. Ataque nital 2%

- Figura 39 - Barras de proteção lateral tubular e estampada antes do ensaio de corrosão 76
- Figura 40 - Peça com corrosão vermelha após 72 horas de *salt spray* 77
- Figura 41 - Peça com corrosão branca após 72 horas de *salt spray* 77
- Figura 42 - Resultados do teste de corrosão 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Especificação do ensaio de tração	64
Tabela 2 -	Especificação da análise química	65
Tabela 3 -	Resultados obtidos no teste de flexão	69
Tabela 4 -	Resultados obtidos no ensaio de dureza	72
Tabela 5 -	Resultados obtidos no ensaio de tração dos materiais	73
Tabela 6 -	Resultados obtidos na análise química dos materiais	74

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 -	Relação tensão-deformação: Equação de Hollomon	32
Equação 2 -	Tração uniaxial	32
Equação 3 -	Tração biaxial	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
2 REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1 AÇOS BIFÁSICOS E POLIFÁSICOS	21
2.2 PROCESSO DE ESTAMPAGEM	23
2.2.1 Operações de estampagem profunda ou embutimento	28
2.2.1.1 Características	28
2.2.1.2 Outros aspectos	29
2.2.2 Estiramento	30
2.2.2.1 A estrição no estiramento	31
2.3 PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW	33
2.3.1 Processo de soldagem MIG/MAG robotizado	41
2.3.2 Conceito de soldabilidade dos aços	42
2.3.3 Qualidade no processo de soldagem GMAW	42
2.3.3.1 Fragilização por hidrogênio	43
2.3.3.2 Contaminação por oxigênio e nitrogênio	44
2.3.3.3 Limpeza	44
2.3.3.4 Fusão incompleta	45
2.3.3.5 Descontinuidade da solda	45
2.3.3.5.1 Mordedura	45
2.3.3.5.2 Porosidade	46
2.3.3.5.3 Falta de penetração	46
2.3.3.5.4 Trincas	46
2.4 ENSAIO DE FLEXÃO	47
2.5 DEFINIÇÃO DE DEFORMAÇÃO PLÁSTICA, DUCTILIDADE E FRAGILIDADE	49
2.6 O ENSAIO DE CORROSÃO	51
3 PROPOSIÇÃO	53
4 MATERIAIS E MÉTODOS	54
4.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA BARRA DE PROTEÇÃO LATERAL VEICULAR ESTAMPADA	55
4.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA BARRA DE PROTEÇÃO LATERAL VEICULAR TUBULAR	57
4.3 ESPECIFICAÇÃO DO ENSAIO DE FLEXÃO	61
4.4 ESPECIFICAÇÃO DO ENSAIO DE DUREZA	63
4.5 ESPECIFICAÇÃO DO ENSAIO DE TRAÇÃO	63
4.6 ESPECIFICAÇÃO DA ANÁLISE QUÍMICA	65
4.7 ESPECIFICAÇÃO DA ANÁLISE POR METALOGRAFIA	66
4.8 ESPECIFICAÇÃO DO ENSAIO DE CORROSÃO	67
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
5.1 ENSAIO DE FLEXÃO	69
5.2 ENSAIO DE DUREZA	71
5.3 ENSAIO DE TRAÇÃO	73
5.4 ANÁLISE QUÍMICA	74
5.5 METALOGRAFIA	74
5.6 ENSAIO DE CORROSÃO	76

6 CONCLUSÕES	78
6.1 CONCLUSÕES DA DISSERTAÇÃO	78
6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	79
REFERÊNCIAS	80
APÊNDICE	88

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico e a necessidade de reduzir custos na indústria automobilística, a área de materiais nos seus centros de desenvolvimento vem crescendo a cada dia.

Com isso, tem-se desenvolvido materiais opcionais em substituição aos tradicionais materiais espessos e pesados que não afetam, e em alguns casos até aumentam, a segurança do condutor do veículo e seus passageiros. Por isso, é de suma importância o estudo da aplicação dos 2 tipos de barras de proteção lateral veicular neste trabalho.

As barras de proteção lateral tem grande importância na segurança do condutor e seus passageiros, é empregada nas 2 (duas) ou 4 (quatro) portas e na célula habitáculo do veículo. Tem como função transformar a energia de impacto em energia de deformação em um maior tempo possível para proteger as pessoas e que tenha um menor deslocamento físico.

Estes componentes do automóvel são importantes itens de segurança e ou regulamentação. Em geral, as carrocerias dos automóveis possuem diversas barras ou travessas que requerem projetos que ofereçam resistência mecânica ao impacto. Os aços utilizados são geralmente de alta resistência e baixa liga, como o aço polifásico ou multifásico que podem chegar até 1.000 MPa de resistência à tração. Estes materiais devem absorver energia durante o impacto na deformação plástica.

As barras de proteção lateral veicular podem ser feitas por processo de estampagem ou com tubos com costura e suportes soldados em processo GMAW (*Gas Metal Arc Welding*) nas extremidades desses tubos. Para a determinação de qual tipo de barra se aplicará no veículo, geralmente é especificado no projeto da

própria montadora, pois ambas terão a mesma finalidade e devem oferecer ao condutor do veículo e aos seus passageiros a mesma proteção. A norma de segurança é da *Federal Motor Vehicles* 49 CFR Ch V.

Entre os diferentes processos utilizados na fabricação destas barras, temos a estampagem, utilizando aço de alta resistência e baixa liga conforme norma DIN EN 10142 e DIN EN 10143 (aço de baixo teor de carbono com camada de zinco em ambas as faces com espessura de camada de 7,0 μm).

Na barra de proteção lateral construída com tubo de aço com costura conforme norma DIN 2393, atual EN 10305-2, são soldados nas extremidades, pequenos suportes estampados por meio de solda GMAW.

No capítulo 2, foram estudados conceitos de aços bifásicos, processos de estampagem, processos de soldagem GMAW, ensaio de flexão e corrosão dos aços. No capítulo 3, descreve-se a proposição do trabalho. No capítulo 4 (Materiais e Métodos), foi possível fazer uma apresentação da metodologia a ser seguida à respeito das diferenças técnicas das duas barras de proteção lateral. No capítulo 5 (Resultados e Discussões), foram obtidos os resultados dos ensaios metalúrgicos das barras de proteção lateral estampada e tubular, bem como as suas discussões. No capítulo 6, foi apresentada a conclusão do referido estudo, para que seja possível fazer uma comparação entre os materiais e seus processos de fabricação.

Portanto, este trabalho dará aos engenheiros automotivos melhores condições iniciais de utilização técnica para novos projetos de veículos automotores.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A carroceria de um automóvel corresponde a aproximadamente um terço do seu peso total, por isso reduzir peso nesse item torna-se bastante interessante para os fabricantes. Dessa forma, muitos protótipos e carros de linha foram produzidos com materiais e processos de fabricação não tradicionais, visando basicamente a redução de peso, eficiência e custos de fabricação. Porém não é só trocar o material por um mais leve, mas a estrutura e a geometria devem também ser mudada para tais peças (AKISUE, USUDA, 1993).

2.1 AÇOS BIFÁSICOS E POLIFÁSICOS

Durante a crise de energia na década de 70, um novo tipo de aço nomeado como “Dual Phase”, ou seja, Bifásico, foi desenvolvido. Este tipo de aço exibiu uma microestrutura que foi constituída basicamente de ferrita e martensita (ABDALLA, 1999).

Estes aços bifásicos tornaram-se mais conhecidos no meio científico a partir dos trabalhos de Hayami e Furukawa (1975) e Rashid (1976). A microestrutura bifásica propicia alta resistência mecânica com ductilidade superior aos aços de alta resistência e baixa liga (LONGO, MONTEIRO, 1987). Os aços polifásicos ou multifásicos apresentam, além das fases ferrítica e martensítica, frações volumétricas de bainita e austenita retida.

Na indústria automobilística são observadas vantagens na fabricação de pára-choques, disco e aro de rodas, colunas de direção, polias, suporte de molas, armação de assentos, motores, etc (NOLASCO, 1983; TAKECHI, 1990). Devido à alta resistência e à boa absorção de impacto é considerado excepcional para a

utilização em equipamentos de proteção na área esportiva (BAKER, 1989). São obtidos ainda bons resultados na produção de arames de alta resistência (EFIMOV et al. 1988) e reforços em estruturas de concreto (TREJO, MONTEIRO, THOMAS, 1994). Para melhorar as propriedades à fadiga, é importante equacionar vários aspectos microestruturais, tais como: redução no tamanho de grão, distribuição mais homogênea das fases, fração volumétrica, dureza e morfologia das fases (BLECK, et al. 1997; ABDALLA et al. 1999).

Eles são muito importantes para a indústria automobilística, pois reduzem peso e custos. E também melhoram a vida útil de produtos em muitas partes do carro, tais como: rodas, apoio de radiador, portas, apoio de fontes, etc (GUIMARÃES, PAPALÉO, 1981; AKISUE, USUDA, 1993).

Takechi (1990) e Abdalla (1999) citam que os aços bifásicos são importantes em muitos outros campos de aplicação, especialmente em áreas relacionadas a aplicações estruturais.

Elevados valores de resistência mecânica e de ductilidade em aços bifásicos contendo silício têm sido documentados por Davies, (1979) e KATO et al. (1981).

No processo de obtenção do aço, inclusões não metálicas em aços afetam as propriedades mecânicas dos produtos e, em consequência, a sua vida útil. Inclusões sólidas de alumina, em aços líquido desoxidado ao alumínio, podem causar entupimento das válvulas de lingotamento contínuo, afetando, assim, a produtividade da máquina (ROCABOIS, 2001).

Fernandes Neto, Cheung, Garcia (2000) e Oertel, Costa e Silva (1997) afirmaram que durante a etapa de refino do aço é possível controlar a formação de inclusões não metálicas através do controle da composição química do aço líquido e da escória, da temperatura e, principalmente, do teor de oxigênio remanescente na

etapa final de elaboração do aço no conversor. Controlando essas variáveis, pode-se obter no aço, as características adequadas à conformação mecânica, evitar o entupimento de válvulas no lingotamento contínuo e otimizar a ação dos desoxidantes.

Tão importante como as propriedades de desempenho (resistência mecânica, à corrosão, etc.), as propriedades de fabricação como a soldabilidade e a usinabilidade devem ser sempre consideradas na seleção de materiais metálicos. Em princípio, não se pode dizer que um material é melhor que outro. Dependendo das condições impostas em determinada seleção, é que se pode analisar se a seleção de um determinado material apresenta vantagens sobre outro. Desse modo, deve-se considerar as características exigidas pelo projeto, que são as características técnicas, em seguida, devem ser considerados os aspectos de fabricação da peça, inclusive pensando nos equipamentos disponíveis em determinada instalação, que são as características tecnológicas, e, por último, deve-se considerar o aspecto comercial (BAPTISTA, 2002).

2.2 PROCESSO DE ESTAMPAGEM

O processo de estampagem considera uma chapa metálica trabalhada por ferramentas rígidas que, através de ações de esforços de compressão e tração, transformam o esboço em uma peça de formato regular, como um copo, por exemplo, e também em formato irregular (SHAEFFER, 2006).

Empregando-se um modelo simples como a fabricação de um copo, pode-se observar o principal fenômeno que ocorre no processo de estampagem profunda, conforme mostrado na Figura 1. São triângulos e retângulos existentes no esboço do disco que passam a ter a forma retangular no copo após a conformação. O excesso de material (triângulos) é passado para o corpo do produto estampado graças à

função do sujeitador ou prensa-chapas, que evita a formação de rugas na região do flange, conforme mostra a Figura 2. A ferramenta de estampagem é formada por:

- 1- Punção;
- 2- Guia do punção;
- 3- Sujeitador ou prensa chapas;
- 4- Matriz;
- 5- Extrator;
- 6- Base da matriz.

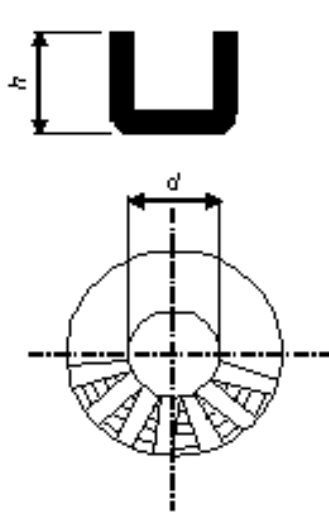


Figura 1 – Estampagem profunda (SHAEFFER, 2006)

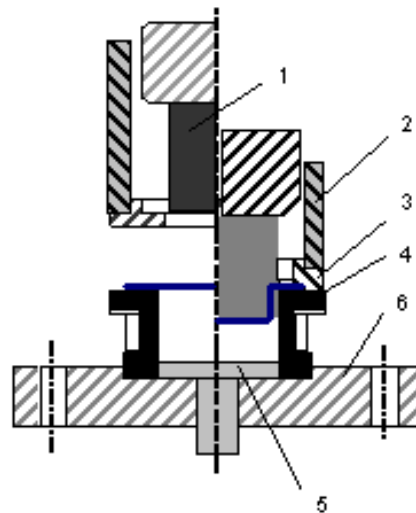


Figura 2 – Copo estampando (SHAEFFER, 2006)

O embutimento profundo é um processo de conformação por estampagem que envolve uma contínua intervenção entre ferramenta, lubrificação, material de conformação e máquina (prensas hidráulicas ou excêntricas) (SHAEFFER, 2006).

A grande vantagem da fabricação de componentes metálicos a partir de chapas metálicas é o baixo custo originado pela minimização do uso de matéria-prima aliado à baixa necessidade de usinagem. Com o aumento da automação, os

processos de estampagem vêm se tornando cada vez mais importantes e significativos (SHAEFFER, 2006).

A conformação plástica de chapas metálicas (estampagem) ocorre quando existe a aplicação de tensões externas a uma chapa de metal ou *blank*, efetuadas pela ação de um punção contra uma matriz - operação de estampagem convencional - ou pela ação de um fluido contra uma matriz ou punção - operação de hidroconformação - proporcionando a modificação da geometria plana da chapa para outra forma tridimensional definida. Isto se dá através do controle do escoamento do material, no estado plástico de tensões e deformações, para o interior da ferramenta.

A estampagem é um dos principais processos de conformação de chapas metálicas, sendo amplamente utilizada na indústria metal-mecânica devido a sua capacidade de reprodução de peças, elevada produtividade, possibilidade de geração de formas irregulares, alto índice de capabilidade do processo e baixo custo de produção para grandes volumes (CALDIN, 2006).

Geralmente, as tensões de tração predominam nos processos de estampagem, sendo que as deformações finais são limitadas pelo início da instabilidade plástica causada pela formação de defeitos como a estrição de espessura localizada, orelhamentos ou pelo enrugamento da chapa. O estado limite da conformação do metal não é uma propriedade intrínseca e característica apenas do material, mas é também função da taxa de deformação, do nível de deformação, do ferramental utilizado, da existência de gradientes de deformação e da lubrificação. Há ainda a influência da espessura do material da chapa e dos raios do punção e da matriz da ferramenta, pois quando a espessura da chapa e os raios do

punção e da matriz são aumentados, eleva-se também o limite de conformação do material (EVANGELISTA, 2000).

Durante os processos de conformação de chapas, grãos cristalinos individuais são alongados na direção da maior deformação de tração. O alongamento é consequência do processo de escorregamento do material durante a deformação. Nos materiais policristalinos, os grãos tendem a girar para alguma orientação devido a um confinamento mútuo entre grãos. Este mecanismo faz com que os planos atômicos e direções cristalinas dos materiais com orientação aleatória (materiais isotrópicos) adquiram uma textura (orientação preferencial). Os materiais conformados se tornam anisotrópicos.

Segundo Stoughton (2000), a habilidade para determinar a severidade de conformação relativa à ruptura do material, é um fator crítico na análise do processo de conformação das chapas metálicas.

Dessa forma, o ensaio mais utilizado para determinar as propriedades mecânicas das chapas é o ensaio de tração, pois permite obter o limite de resistência, o limite de escoamento, o grau de encruamento e o índice de anisotropia do material (HARPELL, 2000; KLEIBER, ROJEK, SOTCHI, 2002).

Um modo de avaliar o grau de anisotropia das chapas quando deformadas plasticamente é através do coeficiente de anisotropia (CIMM, 2006).

Maiores valores do coeficiente de anisotropia médio (r) correspondem a menores graus de redução na espessura do material quando o usuário conforma este material ou seja: melhor conformabilidade no cliente (GORNI, 2007).

Usualmente, antes de se projetar uma ferramenta de estampagem é aconselhável realizar simulações numéricas.

A simulação do processo de estampagem de chapas com a utilização de métodos numéricos, requer dados de geometria do produto, do material empregado e do próprio processo. A utilização da simulação numérica tem por objetivo prever e visualizar a geometria deformada, determinar a espessura final da peça e outros resultados relevantes no processo de estampagem (REIS, 2004).

A estampagem profunda desempenha um papel importante na indústria mundial, principalmente na indústria automobilística. A competitividade existente dentro da indústria faz com que novos métodos de trabalho no desenvolvimento das ferramentas de estampagem sejam adotados. O método dos elementos finitos (MEF) vem auxiliando os projetistas a reduzir os erros que acontecem no desenvolvimento dos ferramentais (BUTTON, 1999).

Para prever o desempenho de componentes mecânicos, o projetista dispõe hoje de uma série de ferramentas matemáticas que podem ser aplicadas. Soluções analíticas podem ser usadas em certos casos, mas sua aplicação é limitada a situações específicas onde uma solução matemática da estrutura pode ser encontrada. Uma maneira mais abrangente de tratar problemas estruturais consiste no uso de métodos numéricos de análise. Apesar de tais métodos fornecerem soluções aproximadas, em muitos casos é a única maneira que os projetistas dispõem para encontrar as respostas que procuram (MORENO, 2000).

Pode-se classificar os modos básicos de conformação mecânica por estampagem, como sendo:

a) Estampagem profunda - é a operação de conformação plástica, em que a chapa metálica é submetida a um estado de carregamento tração-compressão em todos os seus elementos de volume. A espessura final da chapa mantém-se estável, praticamente a mesma da espessura inicial, podendo até mesmo ser ampliada

(situação que ocorre quando a componente da deformação em compressão é, em módulo, maior que a componente da deformação em tração) (SCHULER, 1998).

b) Estiramento puro - é a operação de conformação plástica dos metais em que a chapa é submetida a um estado de tensão biaxial (tração), em todos os seus elementos de volume. O estiramento imprime, necessariamente, uma redução da espessura da chapa e um aumento do encruamento do material (ULSAB, 2005).

c) Conformação combinada - ocorre quando existe a ação de estampagem profunda e do estiramento durante o processo de estampagem. Nas operações reais de estampagem, existe a combinação complexa de tipos de conformação, sendo que a estampabilidade torna-se função não somente das propriedades do material, mas também das condições de deformação presentes no processo de conformação (CALDIN, 2006).

d) Dobramento - ocorre quando a chapa de metal é submetida a um estado de carregamento devido a um momento fletor, fazendo com que a linha neutra situada no meio da espessura da chapa, durante a deformação elástica se desloque em direção à superfície interna do material dobrado, à medida que a deformação plástica continua (ULSAB, 2005).

2.2.1 Operações de estampagem profunda ou embutimento

2.2.1.1 Características

É o processo utilizado para fazer com que uma chapa plana (*blank*) adquira a forma de uma matriz (fêmea), imposta pela ação de um punção (macho). O processo é empregado na fabricação de peças de uso diário (para-lamas, portas de carros, banheiras, rodas, etc.). A distinção entre estampagem rasa e profunda é

arbitrária. A estampagem rasa, geralmente se refere à conformação de um copo, com profundidade menor que a metade do seu diâmetro, com pequena redução de parede. Na estampagem profunda, o copo é mais profundo do que a metade do seu diâmetro (CIMM, 2006).

2.2.1.2 Outros Aspectos

Para melhorar o rendimento do processo de estampagem, é importante que se tenha boa **lubrificação**. Com isto, reduzem-se os esforços de conformação e o desgaste do ferramental. Os óleos utilizados normalmente são para extrema pressão, devendo garantir boa proteção contra a corrosão da chapa, ser de fácil desengraxe e não levar à oxidação do material (devido às reações de subprodutos dos gases formados no aquecimento do metal). Geralmente, são óleos minerais com uma série de aditivos, tais como, cloro (Cl), chumbo (Pb), fósforo (P), gorduras orgânicas, etc.

Deve-se tomar cuidado com o ferramental, para que haja **folga** suficiente entre a matriz e o punção que permita o escoamento do material para o interior da matriz, sem que surjam tensões cisalhantes ocasionadas pelo atrito e que levem à ruptura do metal.

Às vezes, o diâmetro do esboço do disco, é muito superior ao diâmetro da peça a estampar, sendo que esta deve atingir uma **profundidade de copo muito elevada**. A fabricação poderá exigir uma seqüência de operações de estampagem, utilizando uma série de ferramentas, com diâmetros decrescentes (da matriz e do punção). O número de operações depende do material da chapa e das relações entre o diâmetro do disco inicial e os diâmetros das peças estampadas (CIMM, 2006).

Para casos de estampagem profunda, principalmente em chapas finas, é indicado que se coloque quebra-rugas ou freios de estampagem que se compõe de saliências geralmente semi-cilíndricas.

Deve-se ainda estudar a **pressão** a ser aplicada no sujeitador; se esta for muito pequena, surgem rugas nas abas da peça, e se por outro lado, for muito elevada, pode provocar a ruptura da peça na prensa.

Estes dispositivos podem efetivamente contribuir para o controle adequado do fluxo do material de chapas em estampagem para dentro da matriz, mas tem algumas desvantagens: podem causar excessivas deformações nas chapas que passam por eles e deixam nelas saliências que poderão ser arrancadas em forma de fragmentos e ainda comprometem o acabamento superficial da peça (GOO, KEUM, 2000).

O fluxo do material estampado para dentro da matriz é controlado pela força de resistência dos freios de estampagem, a qual precisa ter um valor que não permita a formação de rugas ou dobras na peça de trabalho, nem tão pouco a ocorrência de uma estricção e posterior fratura da chapa (DUARTE, OLIVEIRA, 2005).

2.2.2 Estiramento

O estiramento é uma operação que consiste na aplicação de forças de tração de modo a esticar o material sobre uma ferramenta ou bloco (matriz). Neste processo, o gradiente de tensões é pequeno, o que garante a quase total eliminação do efeito mola, que geralmente é o causador de peças fora do dimensional.

Como predominam tensões trativas, grandes deformações do estiramento

podem ser aplicadas apenas para materiais muito dúcteis. Para estes materiais, almeja-se altos valores de coeficiente de encruamento.

O equipamento de estiramento ou ferramental, consiste basicamente de um **pistão hidráulico** (usualmente vertical), que movimenta o punção. Duas **garras** prendem as extremidades da chapa. Na operação, não existe uma matriz fêmea. As garras podem ser móveis permitindo que a força de tração esteja sempre em linha com as bordas da chapa. Garras fixas devem ser usadas somente para conformação de peças com grandes raios de curvatura, evitando-se com isto o risco de ruptura da chapa na região das garras (CIMM, 2006).

O estiramento é uma das etapas de operações complexas de estampagem de chapas finas. Na conformação de peças como partes de automóveis ou de eletrodomésticos, é comum haver componentes de estiramento (ALBUQUERQUE, 2001).

2.2.2.1 A estrição no estiramento

A conformabilidade de chapas metálicas é geralmente definida como a capacidade do material deformar-se dentro de uma forma definida sem estrição de espessura ou fratura. Cada tipo de chapa pode suportar um determinado limite de deformação, que é usualmente associado ao início da estrição localizada, que eventualmente leva à fratura dúctil (OZTURK; LEE, 2005).

No processo de estampagem profunda com estiramento, o *blank* é impedido de deslizar para o interior da ferramenta devido à ação da força no prensa-chapas que gera tensões de tração na chapa durante a penetração do punção, ocasionando a redução da espessura dessa chapa (CALDIN, 2006).

O limite de conformação no estiramento pode ser estabelecido pelo fenômeno da estricção. A estricção localizada é a redução das dimensões da seção transversal, provocada pelas cargas de tração do processo, comumente conhecida por **empescoçamento**.

Em um ensaio de tração uniaxial, a estricção localizada acontece quando $(d\sigma/\sigma) = d\varepsilon$, o que significa que assumindo uma relação tensão-deformação mostrado na Equação 1 (Equação de Hollomon), a maior deformação verdadeira iguala-se ao coeficiente de encruamento (n).

$$\sigma = k \cdot \varepsilon^n$$

Equação 1 - Relação tensão-deformação: Equação de Hollomon

Nas operações de estiramento uniaxial mostrado na Equação 2 e biaxial Equação 3, a estricção localizada acontece para as condições especificadas abaixo:

$$\frac{d\sigma}{\sigma} = \varepsilon$$

Equação 2 - Tração uniaxial

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = \frac{\sigma}{2}$$

Equação 3 - Tração biaxial

Assim, o empescoçamento só acontecerá quando $\varepsilon_u = 2n$. Ou seja, a estricção é muito mais difusa, implicando em um "amolecimento" geométrico, com a diminuição de espessura ao longo de toda a peça. Isto não constitui limitação para a operação. Contudo, assim que ocorre a estricção localizada, facilmente detectada nas superfícies expostas, segue-se a fratura. Logo, a estricção localizada é um limite de conformação.

É comum haver gradientes de deformação em operações de estiramento. A região que deforma mais, se torna mais encruada e a deformação é transferida para

o elemento de volume vizinho. Se o coeficiente de encruamento for suficientemente grande, haverá a redistribuição das deformações ao longo de toda a peça e esta suportará mais deformações, antes que a estricção localizada se inicie. Então, para operações que exigem altos graus de estiramento, exigem-se materiais com altos valores de n (CIMM, 2006).

2.3 PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW

O processo de soldagem é bastante antigo e comum na maioria das indústrias. Apesar da evolução das técnicas, ainda existe um número elevado de processos que dependem da experiência do operador no ajuste dos parâmetros. Estes parâmetros são importantes e estão relacionados com defeitos e dificuldades comuns em processos de soldagem: má aderência do cordão de solda, porosidades, mordeduras, falta de penetração, entre outras (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2005).

A sigla MIG / MAG caracteriza a identificação dos processos de soldagem a arco elétrico que utilizam gases inertes ou mistura deles (MIG) e também gases ativos ou misturas de gases ativos e inertes (MAG) para proteger a poça de fusão e a região adjacente a ela contra os gases da atmosfera que possam prejudicar a soldagem. Esses processos atualmente são conhecidos pela sigla GMAW – *Gas Metal Arc Welding* (POEPCKE, 1997).

O processo de soldagem GMAW consiste na junção de peças metálicas através de um arco elétrico estabelecido entre as peças a serem soldadas e um eletrodo consumível (arame sólido). Nele, a proteção gasosa da poça de fusão

contra a contaminação atmosférica é feita utilizando-se um gás inerte ou um gás ativo, ou ainda uma mistura deles (MAIA, 2005), conforme Figura 3.

A soldagem GMAW tem sido muito utilizada na indústria automobilística, entre outras, devido à sua facilidade de automatização. Porém, ainda é muito aplicada em processos manuais de menores volumes de produção.

Como exemplo, um automóvel possui cerca de 4800 pontos de solda, diversos cordões de solda GMAW e, em casos específicos cordões ou pontos de solda laser (RUIZ, BATALHA, 2006).

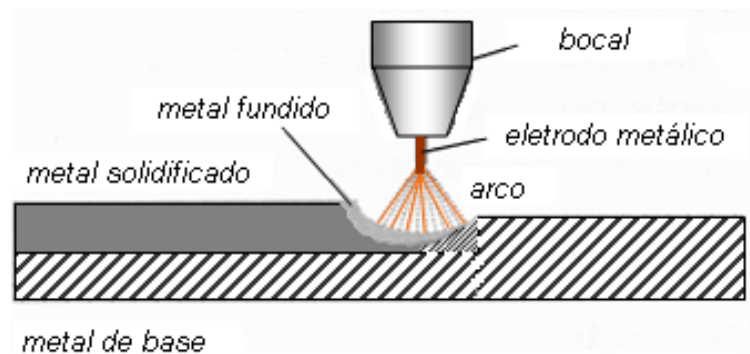


Figura 3 – Esquema da soldagem GMAW (POEPCKE,1997)

Os processos de GMAW são muito utilizados na soldagem de materiais com várias espessuras, ferrosos ou não ferrosos, como alumínio, cobre, magnésio, níquel e suas ligas, aços de alta resistência e aços inoxidáveis. São indicados na fabricação e manutenção de equipamentos e peças metálicas, na recuperação de peças desgastadas e no recobrimento de superfícies metálicas, podendo ser utilizados em todas as posições.

A produtividade alcançada pelos processos GMAW é alta em virtude de serem processos semi-automáticos e de admitirem a mecanização, com emprego de dispositivos de posicionamento e deslocamento.

A qualidade do cordão de solda conseguido pelos processos GMAW é influenciada por parâmetros, tais como: intensidade de corrente, tensão, comprimento do arco, velocidade de soldagem, *stick-out*, gases de proteção, diâmetro do eletrodo e posição da tocha, seus tipos e vazão. É preciso, portanto, conhecer essas variáveis para selecionar o procedimento adequado a cada demanda de soldagem.

Os processos GMAW utilizam fonte de corrente contínua e polaridade inversa com eletrodo positivo a fim de possibilitar melhor penetração e estabilidade do arco. Quando não é necessária grande penetração, é possível usar a polaridade direta, o que aumenta a velocidade de deposição. A corrente alternada é utilizada para alumínio e suas ligas. A escolha da corrente de soldagem é feita a partir da espessura das peças a serem soldadas, do diâmetro do eletrodo e das características do cordão. A transferência do metal e o controle da taxa de fusão do eletrodo são influenciados pela intensidade de corrente.

O emprego de eletrodo de materiais resistivos como o aço não ligado, com baixas correntes, apresenta uma relação linear entre a intensidade de corrente e a velocidade de alimentação; entretanto, à medida que a intensidade de corrente aumenta, essa relação se modifica, tendendo para uma curva, especialmente no caso de arames com diâmetro menor.

Isto acontece devido ao efeito Joule, responsável pelo calor na ponta do eletrodo, e que influencia de modo significativo a taxa de fusão. Aumentando-se a intensidade de corrente e mantendo-se constantes as outras variáveis, o cordão de solda apresenta aumento de penetração e de largura (POEPCKE,1997), conforme Figura 4.

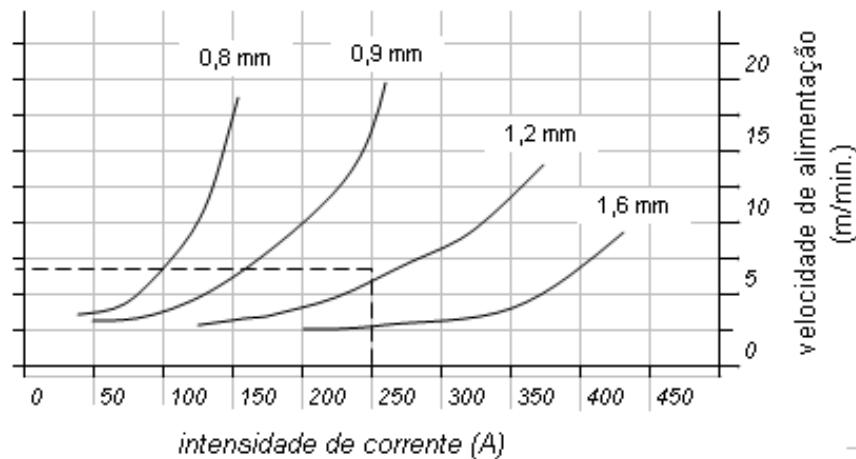


Figura 4 – Gráfico da intensidade de corrente (A) x velocidade de alimentação (mm/min) (POEPCKE,1997)

No caso de soldagem de materiais de baixa resistividade, como por exemplo, o alumínio, o efeito Joule é menos acentuado; deste modo, é possível perceber que a relação entre intensidade de corrente e velocidade de alimentação é relativamente linear, conforme mostra a Figura 5.

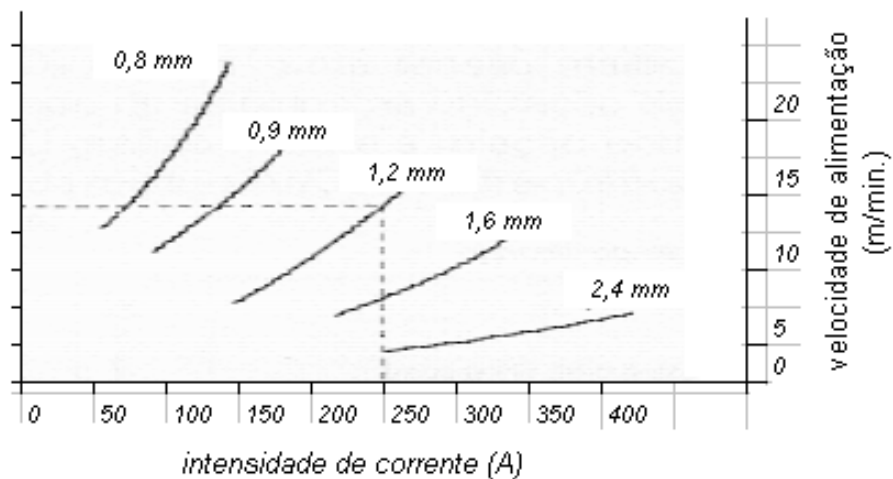


Figura 5 – Intensidade de corrente (A) x Velocidade de alimentação (mm/min) (POEPCKE,1997)

A tensão e comprimento do arco elétrico são variáveis importantes no processo de soldagem com proteção gasosa. Esses dois fatores estão relacionados um ao outro, embora tenham significados diferentes.

A tensão do arco depende do comprimento do arco e também do tipo e do diâmetro do eletrodo, do gás de proteção e do modo de transferência de metal. Se todas essas variáveis se mantiverem constantes, o aumento da tensão do arco provoca maior largura e menor altura do cordão, melhor “molhagem”, ou distribuição do metal depositado, e redução da penetração. Tensões excessivas do arco provocam porosidade, salpicos e mordeduras; por outro lado, tensões mínimas resultam em porosidade e cordões muito convexos (POEPCKE,1997).

Um arco com comprimento muito pequeno pode causar curtos-circuito acidentais quando a transferência é globular ou em *spray*, resultando em instabilidade do arco e conseqüente porosidade no cordão. Já o comprimento muito grande tende a oscilar e a causar um cordão de penetração e largura irregulares.

A velocidade de soldagem é a velocidade de deslocamento do arco elétrico ao longo da junta. A velocidade de soldagem está diretamente ligada à quantidade de energia cedida à peça; quanto maior a velocidade, menor a quantidade de calor cedida por unidade de área. Velocidades muito baixas, além de elevar o custo da operação, podem causar alterações metalúrgicas na estrutura do material devido à concentração térmica. Por outro lado, velocidades excessivas provocam menor penetração e menor largura do cordão, possíveis mordeduras e falta de fusão, além de falta de penetração.

O *Stick-out* (Figura 6) é a distância existente entre o início da parte externa do eletrodo ou fim do bico de contato e o final do eletrodo; portanto, é o comprimento livre do eletrodo. A distância entre a ponta do eletrodo e a peça é o comprimento do arco (POEPCKE, 1997).

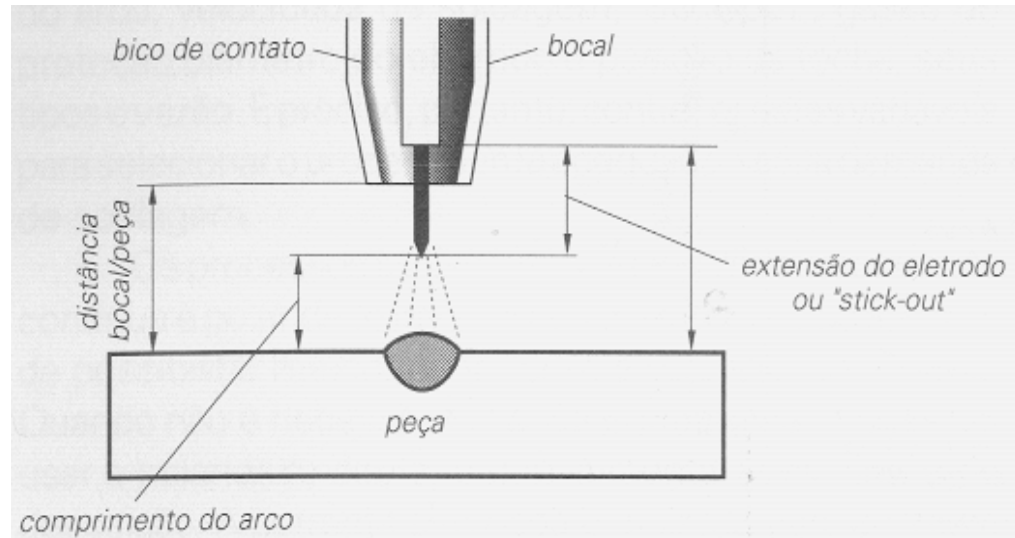


Figura 6 – Ilustração de “stick-out” (POEPCKE,1997)

O *stick-out* está relacionado à velocidade de fusão do eletrodo; se o *stick-out* for aumentado, o calor é aumentado por efeito Joule, e a velocidade de fusão do eletrodo também se torna maior. Se o *stick-out* for muito pequeno, o calor gerado não será suficiente para fundir o eletrodo adequadamente; por outro lado, se for muito elevado, o arco tornar-se-á instável, a proteção gasosa deixará de existir e a consequência será o aparecimento de porosidades. Portanto, é preciso controlar rigorosamente o *stick-out*. Além desses fatores, outras variáveis do processo também podem afetar a porosidade resultante no metal de solda, por exemplo, quanto mais estreita e profunda for a junta, maior a tendência de retenção dos gases, ou seja, maior a dificuldade dos gases escaparem, portanto, juntas com geometria que dificulta o escape dos gases favorecem a ocorrência de porosidade (QUITES, SCOTTI, 1984).

Ferraresi, Moraes e Lima (2003) ao comparar em cordões de solda com e sem abertura de raiz, verificaram que com abertura de raiz a tendência à retenção de gases é menor, ajudando a minimizar a porosidade.

Os gases de proteção utilizados no processo MIG são o argônio ou o hélio ou ainda uma mistura de ambos. O processo MAG utiliza o dióxido de carbono (CO_2) ou mistura de gás inerte com CO_2 ou com oxigênio (O_2). O emprego de CO_2 , um gás oxidante mais barato que outros gases de proteção, faz do processo MAG um dos mais utilizados na soldagem de estruturas de aço. Quando submetido a altas temperaturas, o CO_2 decompõe-se em CO e O_2 segundo uma reação química.

Devido à atmosfera oxidante, acontece a formação de FeO que se combina com o carbono existente no aço e origina CO.

Uma vez que a solidificação do metal em fusão é muito rápida, o monóxido de carbono pode ficar preso no interior do metal e causar porosidades. A fim de impedir a formação de CO, usa-se metal de adição com desoxidantes como o silício e o manganês, em proporções maiores que as utilizadas no processo MIG, e que produzem variadas reações.

Quando se utiliza mistura de argônio e CO_2 , é preciso atentar para a porcentagem de argônio existente na mistura. O aumento de argônio no CO_2 serve para estabilizar o arco elétrico e, em consequência, atenuar o respingo, uma vez que há um aumento na frequência de transferência das gotas e uma diminuição na frequência de curto-circuito entre elas e a poça de fusão. Uma comparação entre CO_2 puro e uma mistura de argônio mais CO_2 mostra uma tensão maior do arco e maior quantidade de salpicos na utilização do CO_2 .

O gráfico da Figura 7 mostra a relação entre o conteúdo de argônio (Ar) da mistura Ar/ CO_2 e a frequência de transferência de gotas (POEPCKE, 1997).

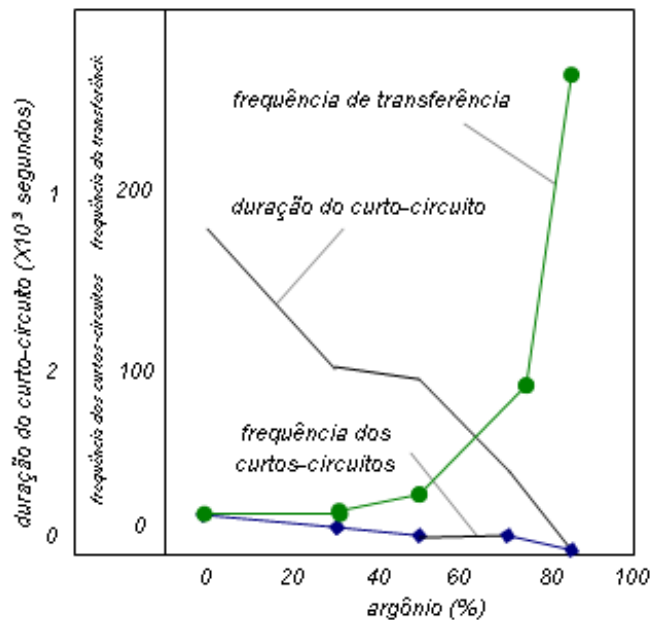


Figura 7 – Gráfico da relação entre o conteúdo de argônio da mistura Ar/CO₂ e a frequência de transferência de gotas (POEPCKE,1997)

A função primordial do gás de proteção é evitar que a poça de fusão entre em contato com a atmosfera que a envolve. Sem essa proteção, os óxidos formados pela temperatura de fusão dos metais em contato com o ar provocam defeitos no cordão de solda, tais como: porosidade e fragilização. Outras funções do gás são ionizar o espaço do arco elétrico e estabilizá-lo.

O tipo de gás a ser utilizado depende do material que se quer soldar e de sua espessura. Estes dados podem ser conseguidos por meio de quadros indicadores do tipo de material, da espessura e do tipo de transferência a ser utilizado.

O diâmetro do eletrodo influencia diretamente o cordão de solda e está relacionado com a intensidade de corrente. Assim, um eletrodo com pequeno diâmetro requer intensidade de corrente também pequena; já um eletrodo de diâmetro maior necessita de corrente de maior intensidade para um mesmo modo de transferência (POEPCKE,1997).

2.3.1 Processo de Soldagem MIG/MAG Robotizado

A soldagem robotizada é basicamente uma parte de um sistema automatizado de soldagem, mas é considerado separadamente, já que de todas as novas tecnologias acessíveis, os robôs são um dos tópicos mais interessantes e, por isso, vai-se fazer uma referência especial no seu uso na soldagem. Robôs articulados podem com facilidade simular os movimentos e ações de um ser humano na soldagem e, com certos limites, podem prover uma alternativa aceitável, para substituir homens em tarefas muito monótonas e fatigantes, o que é muito comum nas indústrias de hoje. Um robô pode ser uma solução bem efetiva economicamente para trabalhos de soldagem a arco (MIRON, 2007).

O processo de soldagem GMAW robotizado consiste basicamente de 3 componentes: uma unidade mecânica ou sistema de manipulação, um pacote de soldagem e um sistema de controle. O sistema de manipulação consiste em uma série de juntas articuladas capazes de se mover em diversas direções. Esses mecanismos são movidos por atuadores que podem ser hidráulicos, pneumáticos ou motores elétricos. A versatilidade desse sistema depende do número de graus de liberdade que o robô pode se mover. O pacote de soldagem consiste em toda a infra-estrutura que possibilita o processo de soldagem, ou seja, máquina de solda, sistema de limpeza da tocha após a realização de cada solda, sistema de corte do arame-eletrodo, entre outras facilidades que podem ser introduzidas para se automatizar cada vez mais o processo. O sistema de controle é um recurso que funciona como interface entre o sistema de manipulação e o pacote de soldagem. Ele é requerido para controlar o posicionamento da solda, ou seja, o movimento do sistema de manipulação e controlar todo o pacote de soldagem. Além disso, funciona como interface para sistemas auxiliares, interface com o operador e

proporciona a capacidade de armazenamento de programas de soldagem (DIXON, 1998).

Vale mencionar também que no processo de soldagem GMAW robotizado, uma grande variedade de defeitos pode aparecer no cordão de solda e podem estar associados à várias causas, tais como inclinação da tocha, folga entre as chapas, posição inicial do arame e a extensão do arame em relação à peça dos materiais soldados (ARTHUZO et al. 2006).

2.3.2 Conceito de soldabilidade dos aços

Considera-se que o material metálico é soldável, mediante um dado processo e para uma finalidade concreta, quando, utilizando-se um procedimento de soldagem adequado, pode-se obter uma junta metálica contínua que satisfaça as exigências físicas e químicas requeridas (MONTEIRO, 2004).

Conforme Farrar e Harrison (1997), esta definição inclui não somente os aspectos metalúrgicos, como também os aspectos mecânicos do metal base a ser soldado. Seu objetivo é evitar a presença de trincas, poros, inclusões de escórias, falta de fusão e outros defeitos que possam provocar a diminuição na resistência estática ou a fadiga do componente soldado.

2.3.3 Qualidade no processo de soldagem GMAW

Basicamente são similares em diversos processos de soldagem, além de MIG/MAG, os procedimentos de qualidade para juntas feitas em GMAW.

A inspeção da solda resume-se a ensaios não destrutivos tais como: visual, líquido penetrante, partículas magnéticas, radiografia ou ultra-som (ABENDE, 2004).

Ensaio destrutivos (tensão, fadiga, cisalhamento, impacto, dobramento, fratura, corte transversal ou dureza) são empregados no desenvolvimento da engenharia e no procedimento de soldagem, nos testes de qualificação da solda e do soldador.

2.3.3.1 Fragilização por hidrogênio

Na fragilização por hidrogênio, a possibilidade deste problema acontecer com GMAW é pequena, uma vez que nenhum fluxo higroscópico ou revestimento é utilizado. Entretanto, outras fontes de hidrogênio devem ser consideradas. Por exemplo, o gás de proteção deve conter umidade suficientemente baixa. Ela deve ser bem controlada pelo fornecedor de gás. Óleo, graxa e componentes são lubrificantes do eletrodo ou do metal base torna-se fontes potenciais de hidrogênio no metal de solda.

A fragilização pelo hidrogênio é caracterizada pelos fatos (POUND, 1998 ; BEGHINI et al. 1998):

- degradação das propriedades mecânicas dos aços;
- diminuição da ductilidade em tração, que é diretamente proporcional ao teor de hidrogênio contido no metal;
- tendência a mudar a morfologia da fratura de dútil para frágil;
- redução da tenacidade à fratura;
- é mais crítica em situações de baixa taxa de deformação;
- ocorre entre 173K e 373K, sendo maior em temperaturas próximas à ambiente;
- necessita que o metal que contém hidrogênio esteja submetido a tensões trativas locais;

- aços de alta resistência mecânica são particularmente susceptíveis ao fenômeno.

Vários autores defendem a idéia de que existe uma concentração crítica de hidrogênio para a fragilização pelo hidrogênio (LUNARSKA, OSOSKOV, JAGODZINSKY, 1997; PRESSOUYRE, FAURE, 1988). Dietzei e Pfuff (1996) consideram que existe apenas uma concentração crítica para propagar uma trinca porque as pré-trincas (microtrincas) já existem.

2.3.3.2 Contaminação por oxigênio e nitrogênio

Oxigênio e nitrogênio são problemas que devem ser mais considerados que o hidrogênio nos processos GMAW. Se os gases de proteção não forem completamente inertes ou não protegerem adequadamente a poça de fusão, esses elementos podem ser absorvidos da atmosfera durante a execução da solda. Por outro lado, tanto óxidos quanto nitretos podem também reduzir os problemas de entalhe no cordão de solda. Metal de solda depositado por GMAW não é tão forte quanto o metal depositado por GTAW. Deve ser ainda mencionado aqui, entretanto, que uma porcentagem de oxigênio de até 5% ou mais pode ser adicionada ao gás sem efeitos adversos para a solda (BRACARENSE, 2003).

2.3.3.3 Limpeza

A limpeza do metal base na soldagem GMAW é mais crítica quando comparada aos processos SMAW e SAW. Os compostos presentes no fluxo e no revestimento possuem a capacidade de limpeza e desoxidação do metal fundido, não ocorrendo o mesmo no processo GMAW. Isto torna necessário cuidado especial antes da soldagem e entre-passes. Isto é particularmente verdadeiro para alumínio,

onde procedimentos elaborados para limpeza química e remoção mecânica de óxidos metálicos são aplicados (BRACARENSE, 2003).

2.3.3.4 Fusão incompleta

O aporte de calor reduzido comum à transferência por curto-circuito resultam em baixa penetração através do metal base. Este procedimento é desejável em materiais finos ou em soldagem fora de posição. Entretanto, a utilização imprópria da técnica pode resultar em fusão incompleta, especialmente em áreas de raiz ou ao longo das faces.

2.3.3.5 Descontinuidades da solda

Algumas das descontinuidades mais comuns no processo GMAW são listadas nos parágrafos seguintes:

2.3.3.5.1 Mordedura

A mordedura (Figura 8) é caracterizada pela fusão do metal base na região adjacente à margem do cordão de solda. Ela não deve ser confundida com a deposição insuficiente, onde pode observar-se a face original do chanfro no metal base (TSH, 2005).

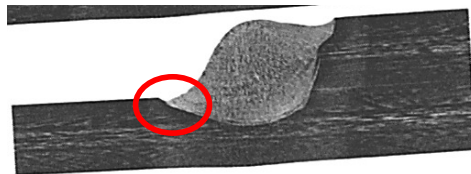


Figura 8 – Mordedura no pé da solda (ARTHUZO, 2006)

2.3.3.5.2 Porosidade

A porosidade (Figura 9) é caracterizada pelo aprisionamento de bolhas de gás no cordão de solda. Ela está associada a um aumento na quantidade de gás dissolvido na poça de fusão. Os poros podem ser do tipo agrupados, alinhados, etc.

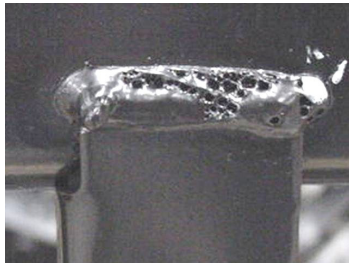


Figura 9 – Porosidade do tipo agrupada (BRACARENSE, 2003)

2.3.3.5.3- Falta de penetração

A falta de penetração (Figura 10) é caracterizada pela produção de um cordão de solda que não une completamente a espessura das duas partes que estão sendo soldadas. Isto significa que, parte da espessura do material não foi completamente fundida e, como consequência, não teve penetração total.

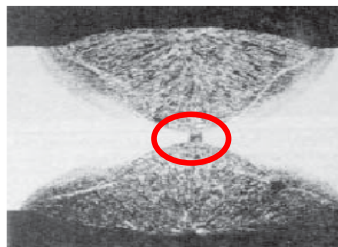


Figura 10 – Falta de penetração (BRACARENSE, 2003)

2.3.3.5.4 Trincas

As trincas de solidificação são geradas pela presença de um filme líquido em um cordão de solda ou na zona de ligação, que está macroscopicamente

solidificada. Este tipo de trinca está associado à composição química do metal base e a presença de tensões geradas durante a soldagem. Geralmente aparece durante o resfriamento no centro do cordão de solda ou na zona de ligação, ou mesmo em regiões reaquecidas na soldagem multipasso (MODENESI, 2001).

As causas de trinca de solidificação podem ser:

- Energia de soldagem especificado erroneamente, isto é, corrente de soldagem elevada ou velocidade de soldagem baixa;
- Consumível especificado erroneamente: diâmetro excessivo para a geometria do chanfro;
- Metal base com composição química incorreta, isto é, teores elevados de enxofre e fósforo.

2.4 ENSAIO DE FLEXÃO

Para alguns componentes de um veículo automotor, a homologação se dá através de ensaios de flexão.

O ensaio de flexão é geralmente feito de modo a reproduzir no laboratório, as condições da prática. Desse modo, é possível criar várias maneiras de se efetuar esse ensaio, desde que a peça possa ser adaptada diretamente em uma máquina comum. Muitas vezes, são feitos ensaios de flexão em produtos contendo partes soldadas ou unidas por qualquer tipo de junção, e a carga é aplicada próximo a extremidade de uma das partes até que haja início de ruptura na junção, ficando a outra extremidade presa por meio de dispositivos; assim, pode-se verificar até que esforço de flexão a peça pode sofrer sem se romper (SOUZA, 1982).

Os ensaios de flexão em 3 pontos são com maior frequência os ensaios mais realizados em materiais frágeis (MONTEIRO, 2001).

O ensaio de flexão é realizado em materiais frágeis e em materiais resistentes, como o ferro fundido, alguns aços, estruturas de concreto e outros materiais que em seu uso são submetidos a situações onde o principal esforço é o de flexão (EMIC, 2007).

Nos ensaios de flexão, a força é sempre aplicada na região média do corpo-de-prova e se distribui uniformemente pelo corpo (EMIC, 2007).

Para Penha (2004), o ensaio consiste em apoiar o corpo-de-prova sob dois apoios distanciados entre si de uma distância L , sendo a carga de flexão aplicada no centro do corpo-de-prova a uma distância $L/2$ de cada apoio, após registra-se a deflexão produzida por intermédio de um extensômetro elétrico ou mecânico, o que permite a obtenção de um diagrama carga x deflexão e desse ensaio podem-se retirar as propriedades de um material como módulo de ruptura, que é o valor máximo da tensão de tração ou compressão nas fibras extremas do corpo-de-prova durante o ensaio de flexão.

Para Fraccaroli (1981), o ensaio de flexão de 3 pontos tem a vantagem de ser executado por dispositivos simples.

A partir dos valores obtidos nos ensaios de flexão, são construídas as curvas de carga versus deformação (SILVA, 2002).

Quando um espécime de qualquer material é ensaiado em flexão, os esforços que podem ocorrer em uma seção consistem em uma força cortante e um momento fletor.

O ensaio de flexão em três pontos consiste na aplicação de uma carga crescente no centro de uma barra com dimensões padronizadas apoiado sobre um

dispositivo com dois apoios distanciados entre si a uma distância L . A carga aplicada começa com valor inicial igual a zero e aumenta progressivamente até a ruptura do corpo-de-prova. As propriedades mecânicas do material são obtidas por meio da curva carga x deslocamento (LOFFREDO, 2006).

2.5 DEFINIÇÃO DE DEFORMAÇÃO PLÁSTICA, DUCTILIDADE E FRAGILIDADE

Para a maioria dos materiais metálicos, o regime elástico persiste apenas até deformações de aproximadamente 0,005%. À medida que o material é deformado além deste ponto, a tensão não é mais proporcional à deformação, ocorrendo então uma deformação permanente ou não recuperável, chamada de deformação plástica (CALLISTER, 2002). A Figura 11 mostra um gráfico esquemático do comportamento tensão deformação em tração até a região plástica para um metal típico.

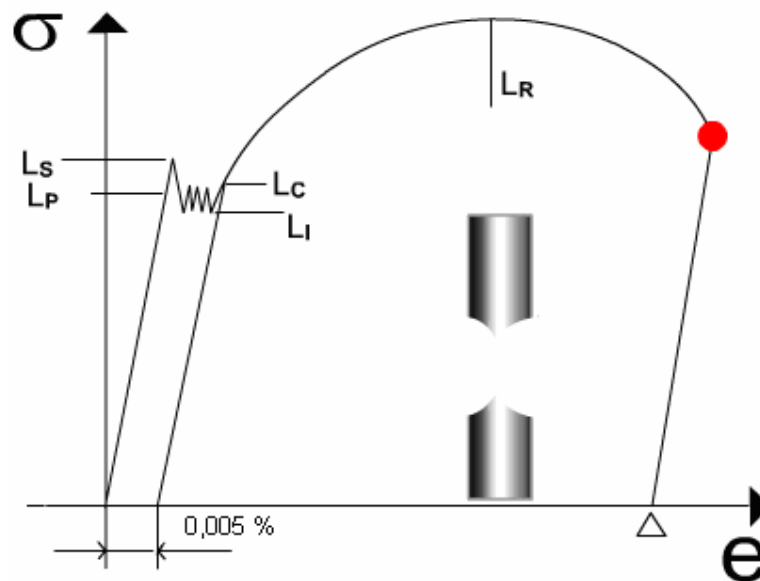


Figura 11 - Gráfico de Tensão deformação (CIMM, 2006).

No estudo de propriedades mecânicas dos materiais, são importantes as deformações provocadas, por compressão, cisalhamento e tração (KOCHKIN, CHIRKEVITCH, 1986; SEARS, ZEAMANSKY, YOUNG, 1984).

Quando submetidos a campos de forças e/ou momentos, os metais deformam-se. A intensidade e o tipo de deformação sofrido pelo metal são funções da resistência mecânica do metal, da intensidade das forças e momentos aplicados, do caminho da deformação, etc. As deformações resultantes dos campos de força podem ser classificadas em dois tipos:

- **deformação elástica** – é aquela em que removido os esforços atuando sobre o corpo, ele volta a sua forma original;

- **deformação plástica** – é aquela em que removidos os esforços, não há recuperação da forma original.

Os dois tipos de deformação podem ser explicados pelos movimentos atômicos na estrutura cristalina do material.

Cada átomo do cristal vibra em torno de uma posição de equilíbrio, característica do tipo de rede cristalina do metal, sendo seu núcleo atraído pelas eletrosferas dos átomos vizinhos e repellido pelos núcleos dos mesmos, como se estivessem em um poço de energia. Sob a ação de esforços externos, os átomos tendem a se deslocar de sua posição de equilíbrio (CIMM, 2006).

A deformação plástica envolve a quebra de um número limitado de ligações atômicas pelo movimento de discordâncias. Depois de removidos os esforços, continua a existir um deslocamento diferenciado de uma parte do corpo em relação a outra, ou seja, o corpo não recupera sua forma original. A deformação plástica é resultante do mecanismo de formação de defeitos cristalinos (discordâncias e

maclas), permanecendo constante o parâmetro de rede. Logo, a deformação plástica ocorre com o volume constante (CIMM, 2006).

2.6 O ENSAIO DE CORROSÃO

Há muito tempo, os ensaios de corrosão são amplamente aplicados para a simulação de um ambiente corrosivo sobre a peça metálica no qual se deseja avaliar a resistência a essa transformação.

Segundo Gentil (2007), para caracterizar a agressividade de um determinado meio corrosivo e fornecer fundamentos básicos para o controle da corrosão, realizam-se os chamados ensaios de corrosão.

Um dos tipos de ensaio de corrosão é o teste da névoa salina (também chamado de teste do *salt spray*) é a forma mais popular de testar materiais metálicos submetidos a revestimentos de proteção contra corrosão. O equipamento usado para o teste consiste de uma câmara fechada, na qual uma solução salina, geralmente de cloreto de sódio, é dispersa na forma de névoa com o auxílio de um bico dispersor. Isto cria um ambiente corrosivo no interior da câmara e, assim, as amostras em teste são submetidas a um ataque químico rigoroso. O volume típico dessas câmaras é de 400 l, embora também possa se apresentar em tamanhos maiores. A duração do teste pode variar desde 8 até mais de 3000 horas dependendo do produto (UCHIMURA, 2007).

Os aços são de extrema importância na construção de carrocerias automotivas, para tanto, os aços galvanizados vem sendo amplamente aplicados para aumentar a resistência à corrosão destes produtos. Kenny (1994) ressalta que os aços com revestimentos feitos com liga zinco-alumínio tem apresentado bons resultados em relação à corrosão atmosférica.

Os revestimentos de zinco eletrodepositados, também têm sido utilizados na indústria automobilística, visando a obtenção de revestimentos com boa resistência à corrosão, pois determina uma proteção galvânica em relação ao ferro. No entanto, a busca por revestimentos cada vez mais resistentes, aliada à competição industrial levou os pesquisadores a rever os requisitos de revestimentos protetores e buscar camadas alternativas; isto pode ser sentido com maior intensidade na indústria automobilística. Surgiram assim na Europa, Japão e Estados Unidos novos tipos de revestimentos, constituídos de ligas de zinco com metais do oitavo grupo: ZnNi, ZnCo e ZnFe. A grande vantagem destas ligas é oferecer melhores propriedades mecânicas, elétricas e anti-corrosivas a um custo adequado se comparados com o zinco puro (SHASTRY, 1989).

Para Panossian (1997), zinco e suas ligas podem ser convertidos em um revestimento cromatizado com o objetivo de aumentar a resistência à corrosão do metal no qual eles são aplicados.

Mesmo o aço com o revestimento de zinco podendo ser de maior custo que um aço sem revestimento anti-corrosivo, ainda é mais interessante, pois de acordo com Callister (2002), o problema da corrosão metálica apresenta proporções significativas em termos econômicos, pois foi estimado que aproximadamente 5% da receita de uma nação industrializada são gastos em manutenção ou substituição de produtos perdidos com a corrosão.

Os ensaios de corrosão podem prevenir o emprego de materiais que posteriormente poderão perder suas funções.

3 PROPOSIÇÃO

Este trabalho apresenta uma comparação técnica de duas barras de proteção lateral veicular, sendo de duas grandes montadoras automobilísticas, visando avaliar os materiais utilizados e os dois diferentes processos de fabricação, com a mesma metodologia. Com base nos resultados a serem obtidos e com o auxílio da literatura utilizada neste trabalho, propõe duas opções para o cliente efetuar a sua escolha técnica.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho utilizou uma metodologia para comparação entre os tipos de barras de proteção lateral de forma que ambas as peças fossem submetidas aos mesmos testes com os mesmos parâmetros de execução, conforme ilustrado na Figura 12.

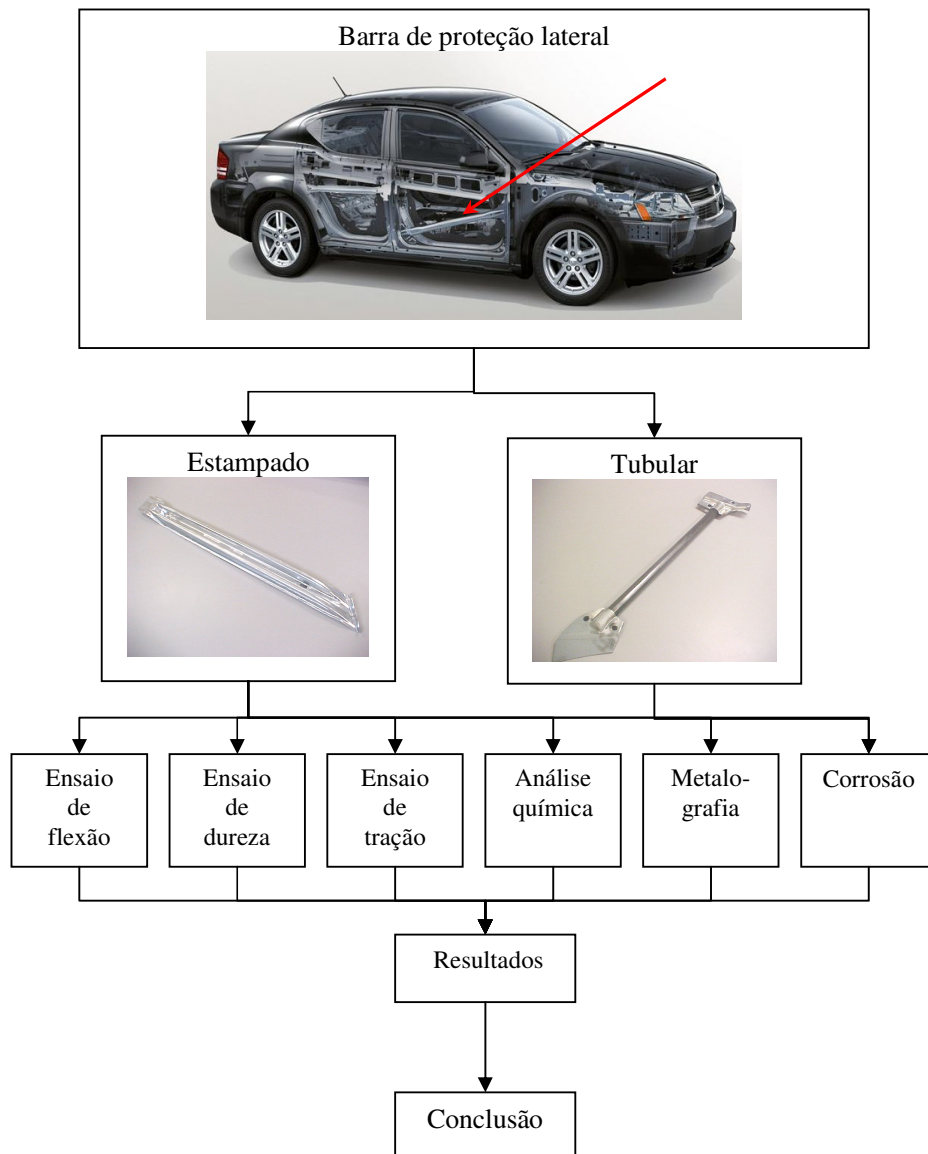


Figura 12 – Fluxograma da metodologia aplicada

Para uma melhor compreensão, foram descritos os processos de fabricação para as duas barras à serem estudadas.

4.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA BARRA DE PROTEÇÃO LATERAL VEICULAR ESTAMPADA

Após o recebimento da matéria-prima, a bobina de aço é cortada em *blanks* retangulares, conforme ilustrado na Figura 13, posteriormente ocorre a estampagem da peça.

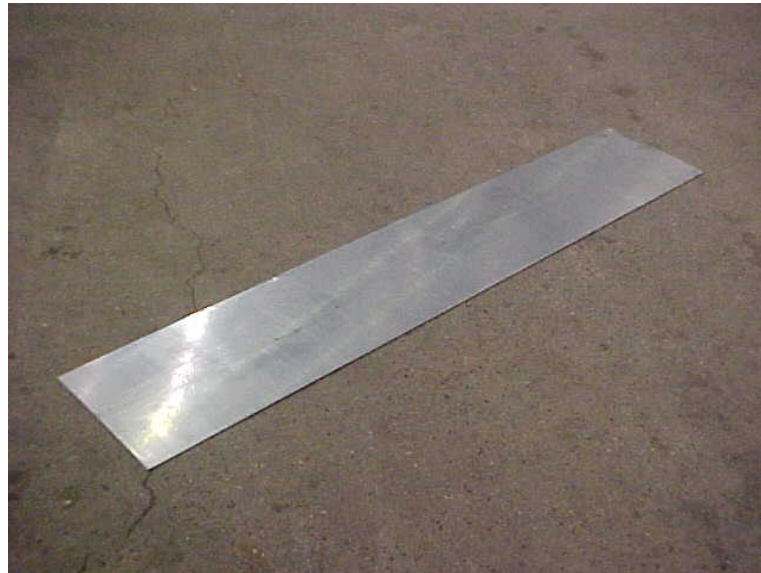


Figura 13 – *Blank* retangular

A pilha de *blanks* é posicionada no alimentador automático, onde através de um sistema robotizado com ventosa, desloca o *blank* até o início da operação de estampagem (Figura 14). A operação 10 é o corte do *blank* e a estampagem tem a seqüência de operações 20 (repuxar), 30 (recortar), 40 (calibrar) e 50 (furar), concluindo a etapa de conformação, conforme mostra a Figura 15.

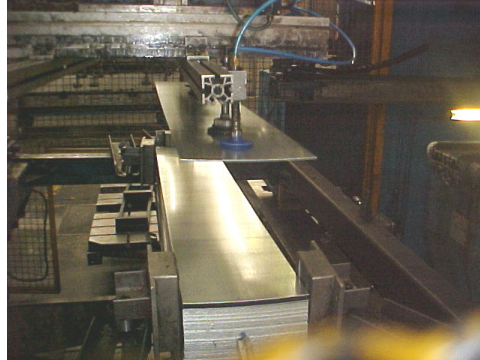


Figura 14 – Alimentador de *blanks* para a estampagem da barra



Operação 20 – Repuxar



Operação 30 – Recortar



Operação 40 – Calibrar



Operação 50 – Furar

Figura 15 – Estampagem da barra de proteção lateral

Ao final do processo de fabricação, tem-se as peças prontas para a sua aplicação no veículo, conforme mostrado na Figura 16.



Figura 16 – Barra de proteção lateral estampada acabada

A barra estampada possui dimensões de 73 mm de largura, 23 mm de altura e 763 mm de comprimento.

4.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA BARRA DE PROTEÇÃO LATERAL VEICULAR TUBULAR

Após o recebimento dos suportes estampados (Figuras 17 a/b) e do tubo de aço com costura (Figura 18), os mesmos vão para a célula de montagem para serem montados e soldados por processo GMAW robotizado.

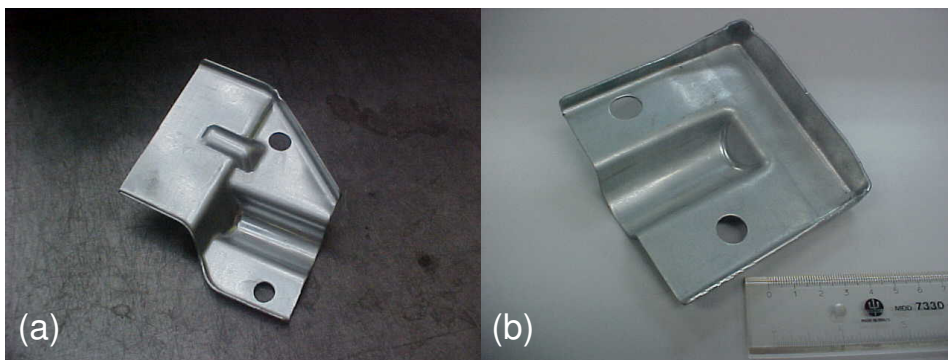


Figura 17 – (a – b) Suportes estampados que posteriormente são soldados nas extremidades das barras tubulares



Figura 18 – Tubo de aço com costura

O tubo de aço com costura tem as seguintes dimensões: \varnothing 28,0 mm, espessura de 2,6 mm e comprimento de 858 mm.

Os componentes são posicionados em *pallets* na célula de montagem (Figura 19), para serem montados e soldados pelo processo de soldagem GMAW robotizado.



Figura 19 – Célula de montagem da barra de proteção lateral veicular tipo tubular

As peças são montadas em um dispositivo a prova de erro (Figura 20), ou seja, o dispositivo não permite que seja montado suportes (Figura 17 a/b) repetido, pois para as barras de proteção lateral, existe a da porta do lado esquerdo e a da porta do lado direito do veículo.

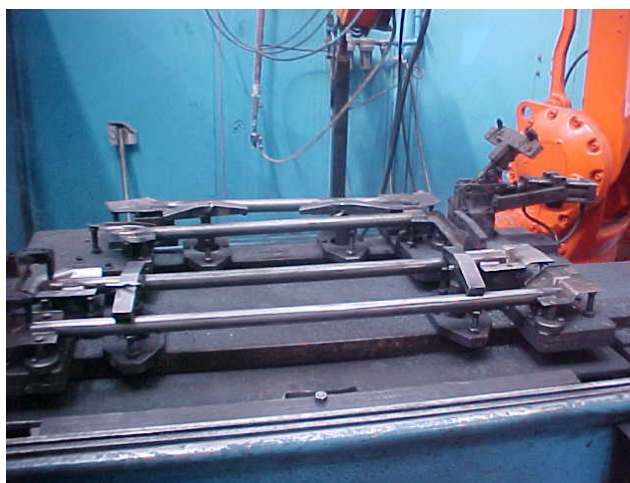


Figura 20 – Dispositivo de montagem da barra de proteção lateral veicular tipo tubular

Após a alimentação manual das peças no dispositivo, um robô ABB da empresa Gestamp executa o processo de soldagem GMAW, conforme mostrado na Figura 21.

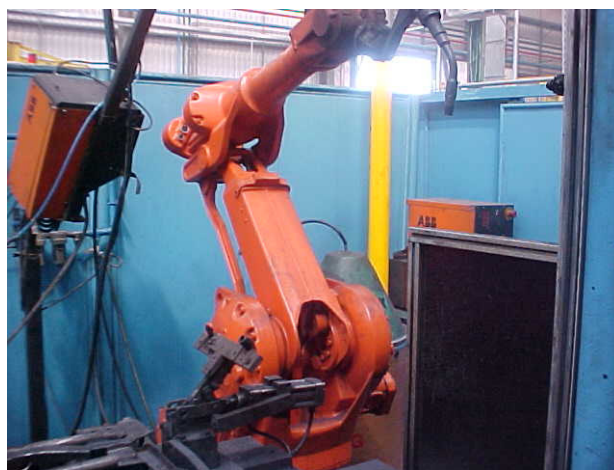


Figura 21 – Robô ABB da empresa Gestamp

As 3 primeiras peças soldadas em cada início de produção, são inspecionadas no laboratório metalúrgico para verificar se existe alguma falha visual na penetração da solda depositada entre os suportes estampados e o tubo de modo que a região soldada sofre uma secção, conforme mostrado na Figura 22.

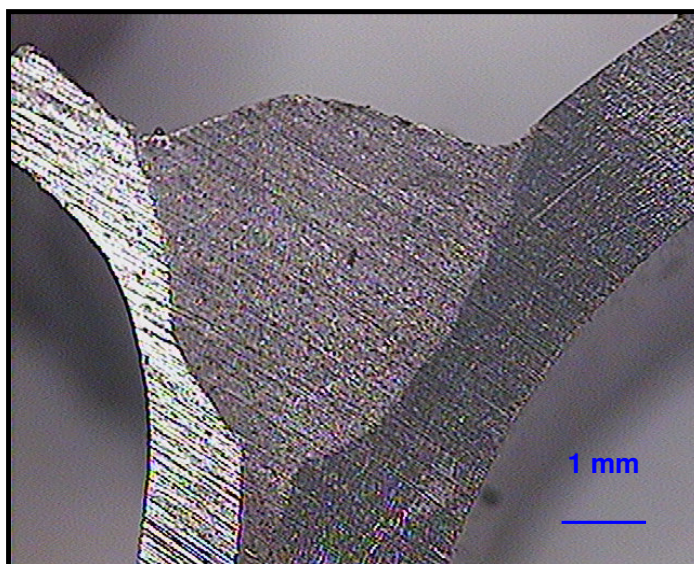


Figura 22 – Secção transversal no cordão de solda

Ao final do processo de fabricação, tem-se as peças prontas para a sua aplicação no veículo, conforme mostrado na Figura 23.



Figura 23 – Barra de proteção lateral tubular acabada

4.3 ESPECIFICAÇÃO DO ENSAIO DE FLEXÃO

Os ensaios foram realizados conforme especificado em desenho Volkswagen (VW) 5Z4 833 507 e 5Z4 833 508. Os testes obedeceram aos seguintes parâmetros:

- a) A barra não deve se romper e nem apresentar trincas antes da deformação de 150 mm, tomando como referência a curva da Figura 24;
- b) Os patins de apoio da barra devem ser móveis como no esquema da Figura 22;
- c) Velocidade da pressão deve ser de 4 à 12 mm/s;
- d) Absorção mínima de energia igual à 720 J.

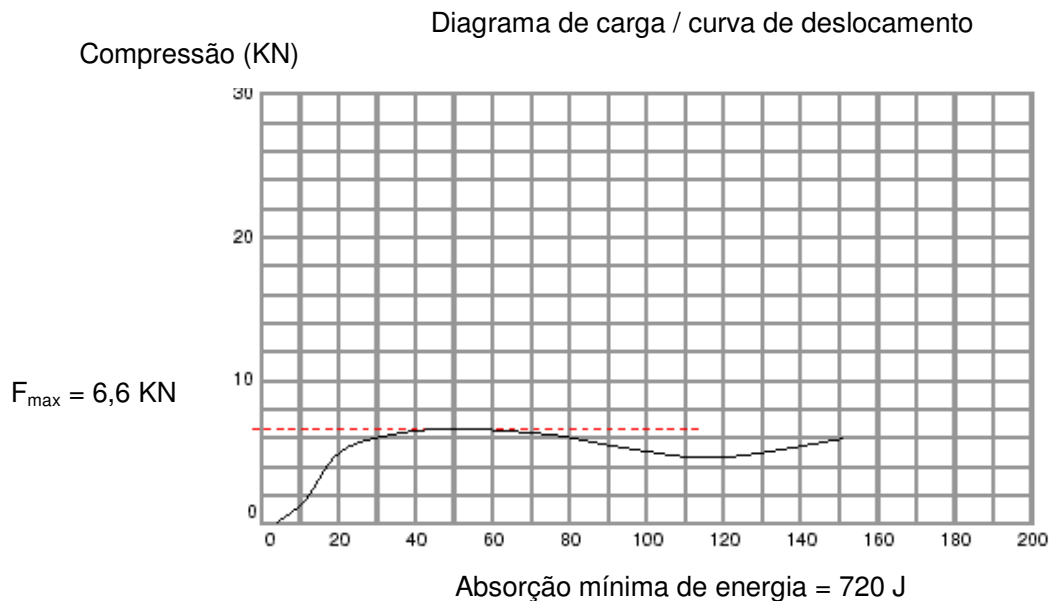


Figura 24 – Gráfico da curva de flexão padrão (VW 5Z4 833 507 e 5Z4 833 508, 2004)

Para a montagem do esquema de teste também especificado em desenho VW 5Z4 833 507 e 5Z4 833 508, foi utilizado um dispositivo respeitando o esquema apresentado na Figura 25.

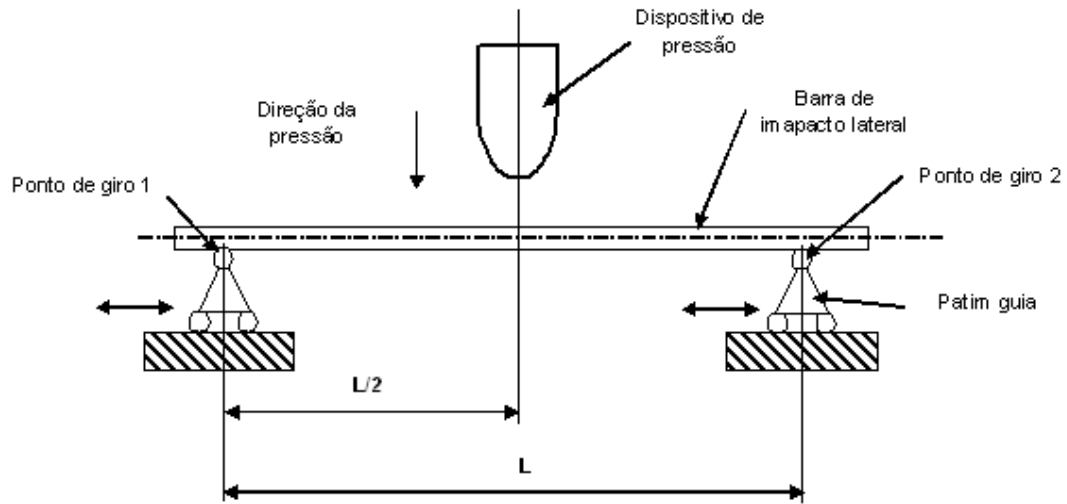


Figura 25 – Esquema de apoio da barra para teste de flexão (VW 5Z4 833 507 e 5Z4 833 508, 2004)

Foram ensaiadas 5 peças de barras estampadas e 5 peças de barras tubulares em uma máquina de tração da marca EMIC, modelo DL 10000 com um computador acoplado à máquina para a plotagem eletrônica das curvas, conforme mostrado na Figura 26.

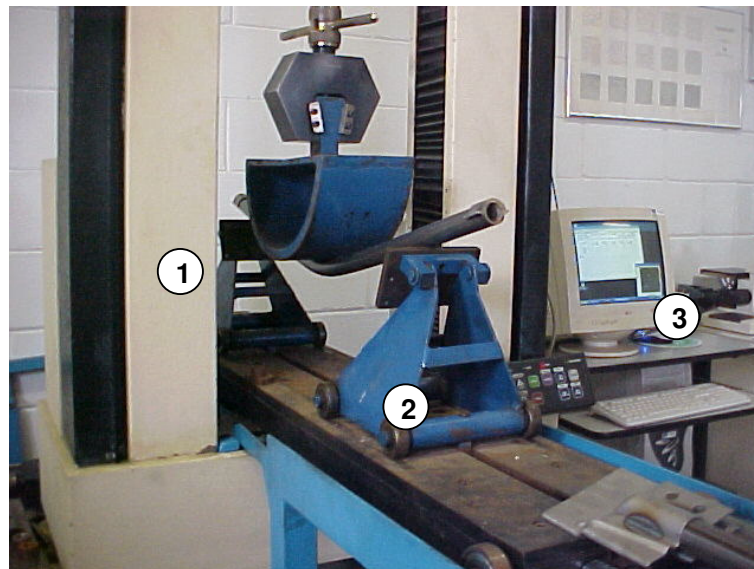


Figura 26 – (1) Máquina de tração, (2) dispositivo de flexão e (3) computador acoplado

4.4 ESPECIFICAÇÃO DO ENSAIO DE DUREZA

Neste trabalho não são especificados os valores de dureza das normas EN 10305-2 para o tubo e DIN EN 10142 da barra de impacto estampada. Portanto, foi feita uma comparação das medições na mesma escala de dureza, Rockwell A e em seguida convertida para as escalas Brinell e Vickers.

Os corpos-de-prova para o ensaio de dureza foram retirados das próprias barras, um quadrado de 10 mm de largura e 10 mm de comprimento e o ensaio foi realizado na superfície transversal ao sentido de laminação.

O equipamento utilizado foi um durômetro analógico da marca Panambra, modelo Pantec RASN – RB, conforme ilustrado na Figura 27.



Figura 27 – Durômetro Panambra Pantec RASN

4.5 ESPECIFICAÇÃO DO ENSAIO DE TRAÇÃO

Na Tabela 1 são mostradas as especificações para os ensaios de tração para as barras de impacto tubular e estampada. Foram retirados cinco corpos-de-prova para cada material a ser utilizado.

Tabela 1 – Especificação do ensaio de tração

Peça	Especificação do material	LR: Limite de resistência (MPa)	LE: Limite de escoamento (MPa)
Barra de Impacto Tubular	EN 10305-2	490 à 630	345 à 355
Barra de Impacto Estampada	EN 10142	800 à 900	500 à 700

Os corpos-de-prova para este ensaio foram retirados com as fibras no sentido da laminação da bobina de aço e de acordo com a norma ASTM E 517 tipo “A”, nas dimensões apresentadas na Figura 28.

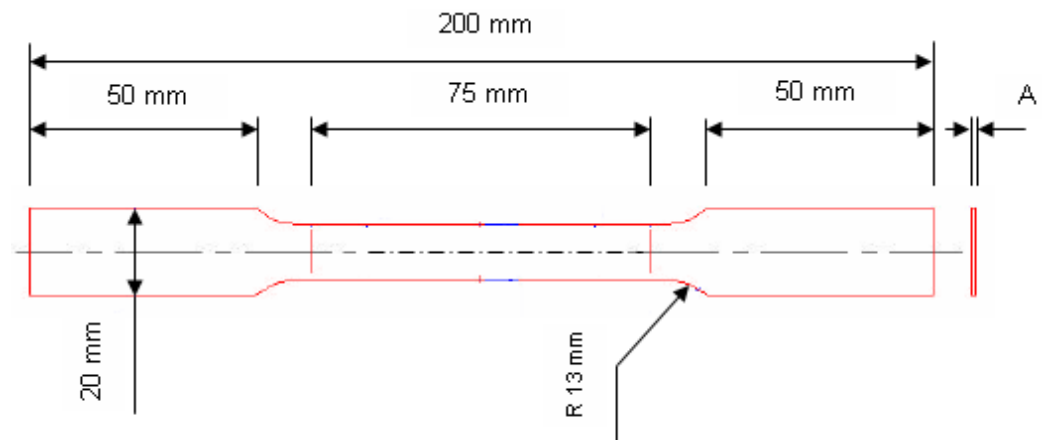


Figura 28 – Dimensões dos corpos-de-prova

A dimensão A ilustrada na Figura 28, variou de acordo com a espessura do material das barras de impacto estampada e tubular. Para a barra estampada a espessura A é de 1,25 mm e para a barra tubular a espessura A é de 2,6 mm.

A Figura 29 apresenta foto do equipamento utilizado neste teste.



Figura 29 – Máquina universal de ensaios EMIC DL 10000

4.6 ESPECIFICAÇÃO DA ANÁLISE QUÍMICA

A Tabela 2 mostra as especificações para as análises químicas para as barras de impacto tubular e estampada.

Tabela 2 – Especificação da análise química (% máx.)

Peça	Material	Composição Química (% máx.)					
		C	Si	Mn	P	S	Al
Barra Tubular	EN 10305-2	0,22	0,55	1,6	0,025	0,025	≥ 0,020
Barra Estampada	EN 10142	0,19	0,80	2,0			2,0

Este ensaio foi realizado em um espectômetro ultra violeta da marca alemã LLA Instruments, modelo ESA 4000, ilustrado na Figura 30.



Figura 30 – Espectrômetro utilizado no ensaio de análise química

Para a realização deste ensaio, foi retirado um pedaço sem forma geométrica definida de cada uma das 5 (cinco) barras de cada modelo e depositado um por vez no compartimento do equipamento e efetuado a leitura por ultra violeta.

4.7 ANÁLISE POR METALOGRAFIA

O objetivo desta análise metalográfica foi comparar a microestrutura para os 2 processos de fabricação por meio de microscopia convencional, conforme a seguinte seqüência:

- a) Escolhido a localização da secção a ser estudada, transversal ao sentido de laminação dos materiais em questão;
- b) Embutimento da peça em baquelite, lixamento da superfície com lixas de granulometria decrescente até chegar ao polimento em feltro;
- c) Exame em microscópio para a observação das ocorrências visíveis sem ataque químico;
- d) Ataque na superfície por um reagente químico adequado, neste caso o Nital 2%;

e) Exame ao microscópio com aumento de 500x para observação da microestrutura;

f) Obtenção de documentos que reproduzem e conservem o aspecto observado (COLPAERT, 1974), neste caso, a fotografia digital.

4.8 ESPECIFICAÇÃO DO ENSAIO DE CORROSÃO

Este ensaio de corrosão tem por finalidade demonstrar o nível prejudicial do efeito da corrosão quando atinge a superfície do material para poder observar as próximas ações de deterioração e assim analisar qual delas podem ser a mais frágil.

O tipo de ensaio de corrosão escolhido foi o de *Salt Spray* 72 horas, ou seja, foi colocado um lote de peças de cada tipo de barra de impacto ensaiada (tubular e estampada) juntas em uma câmara sob névoa salina para que ambas as peças fossem testadas com as mesmas condições, conforme mostrado na Figura 31.



Figura 31 – Equipamento para testes de corrosão

Este ensaio foi realizado em um equipamento de teste cíclico da marca BASS, modelo MP-GS-03-CE/2001 com capacidade para 1600 litros. Consiste em uma câmara fechada, na qual uma solução salina de cloreto de sódio é dispersa na

forma de névoa com auxílio de bicos dispersores, criando assim um ambiente corrosivo no interior da câmara, onde as peças foram colocadas sobre suportes de PVC para não provocar contato entre si.

Neste ensaio foi usada como referência a norma ASTM B117, onde foi utilizada uma solução de cloreto de sódio a 5% não apresentando mais que 200 ppm de sólidos totais e com o pH entre 6,5 e 7,2. A temperatura dentro da câmara de névoa salina é controlada a fim de se manter as condições de teste entre 33,3 °C e 36,1 °C.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ENSAIO DE FLEXÃO

A Tabela 3 mostra a média e o desvio padrão para os cinco ensaios de flexão (Apêndice A) das barras de proteção lateral veicular estampado e os cinco ensaios de flexão das barras de proteção lateral veicular tubular.

Tabela 3 – Resultados obtidos no teste de flexão

	Estampado			Tubular		
	Força máxima (kN)	Deformação máxima (mm)	Energia (J)	Força máxima (kN)	Deformação máxima (mm)	Energia (J)
Média	6,46	86,93	794,97	9,43	154,26	1202,4
D. P.	0,015	2,387	2,792	0,446	8,633	77,735

A Figura 32 mostra a região da peça após o ensaio de flexão na barra de proteção lateral estampada e a Figura 33 o resultado da barra de proteção lateral tubular.

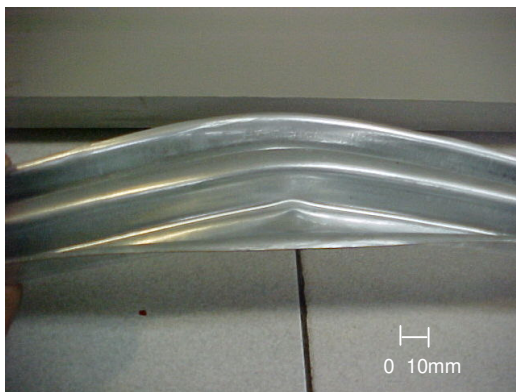


Figura 32 – Barra de proteção lateral estampada ensaiada

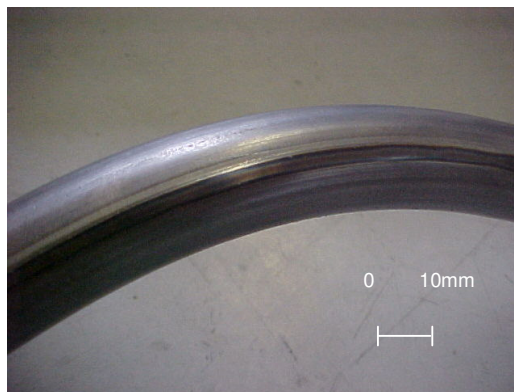


Figura 33 – Barra de proteção lateral tubular ensaiada

Foi observado durante a execução dos testes com as barras de proteção lateral do tipo tubular com costura, que a posição da costura durante o teste não influenciou em nenhum resultado.

Conforme especificado em desenho do produto, para resultados acima de 6,6 KN o material da barra de proteção lateral veicular tipo estampado, está muito rígido, assim podendo romper a peça ou surgir trincas na região da força aplicada. Em dois testes descartados deste trabalho, observou-se que quando existe rebarba na borda da peça estampada, resultante principalmente de folga entre punção de corte e matriz da ferramenta de estampagem, surge o rompimento da barra durante a aplicação da força no teste de flexão, que também seguindo o especificado pelo desenho do produto, o rompimento da barra e o surgimento de trincas não deve ser antes de 150 mm e deve ter absorção mínima de 720 J de energia. O material da barra de proteção lateral veicular tipo estampado, obteve resultados esperados e de acordo com a especificação da montadora descritos no item 4.3 do Capítulo 4, conforme a Tabela 3.

Para a barra de proteção lateral veicular tipo tubular, os resultados também foram satisfatórios dentro da mesma especificação da barra de proteção estampada, porém a força suportada foi maior que a da barra estampada, chegando a resultados como 10,01 KN. Mesmo com este resultado a barra do tipo tubular não se rompeu e nem apresentou trincas. Isto se deve principalmente a configuração geométrica da peça que por ser um tubo tem seu núcleo oco.

Na Figura 34, pode-se observar os resultados na forma de gráfico dos dois tipos de barras testados e também o especificado, pode-se também observar que neste teste as barras tubulares alcançaram valores maiores de força suportada e sem se romper.

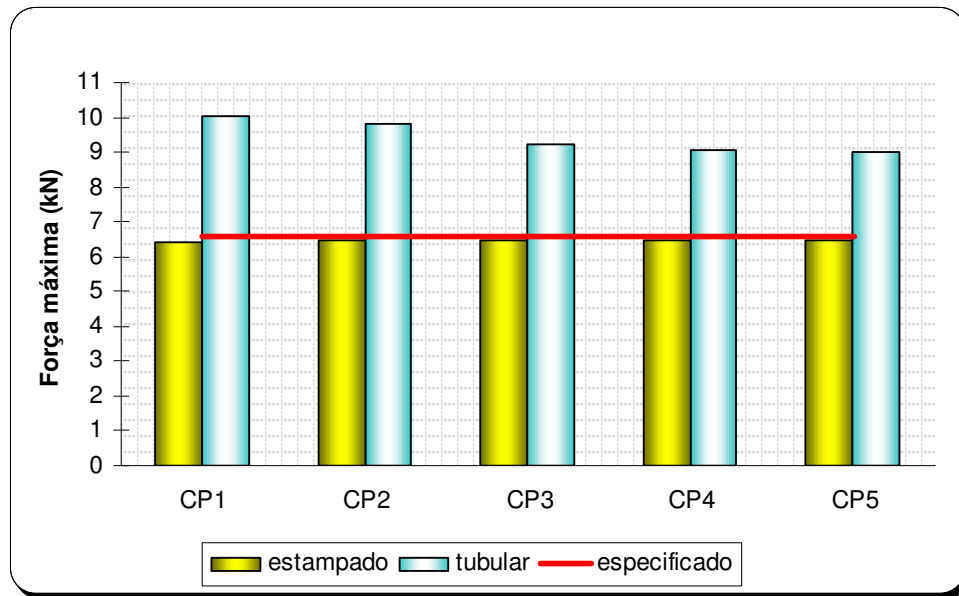


Figura 34 – Resultados do teste de flexão

Na Figura 34, é possível visualizar que todos os corpos-de-prova da barra estampada atenderam o especificado no gráfico da Figura 24 no Capítulo 4, onde foi determinado pela própria montadora.

Para a barra tubular esta especificação de 6,6 kN foi ultrapassada, pois tem-se um aço diferente na composição química com menores teores de componentes que aumentam a dureza do aço como o cromo, além da configuração geométrica cilíndrica oca que favorece o não rompimento em comparação com a barra estampada.

5.2 ENSAIO DE DUREZA

Os ensaios de dureza (Apêndice B) foram realizados em durômetro analógico da marca Panambra, modelo Pantec RASN – RB, na escala Rockwell A (HRA) e posteriormente convertido em outras escalas. Os valores dos resultados médios e o desvio padrão estão apresentados na Tabela 4.

As barras estampadas apresentaram valores de dureza acima dos tubulares, possivelmente devido aos seguintes mecanismos:

- a) solução sólida devido à presença de elementos microligados como nióbio, vanádio, cromo e molibdênio;
- b) menor tamanho de grão;
- c) transformação de fases (formação de fases ferrítica e martensítica no aço bifásico (aço da barra estampada).

Tabela 4 – Resultados obtidos no ensaio de dureza

Material		HRA	HB	HV
Barra estampada	média	61,8	248,2	256,0
	D.P.	0,837	5,495	2,828
Barra tubular	média	54,2	172,8	181,6
	D.P.	0,758	4,550	4,980

Por meio do gráfico da Figura 35, pode-se visualizar a diferença dos resultados obtidos no ensaio de dureza HRA em aproximadamente 7 pontos.

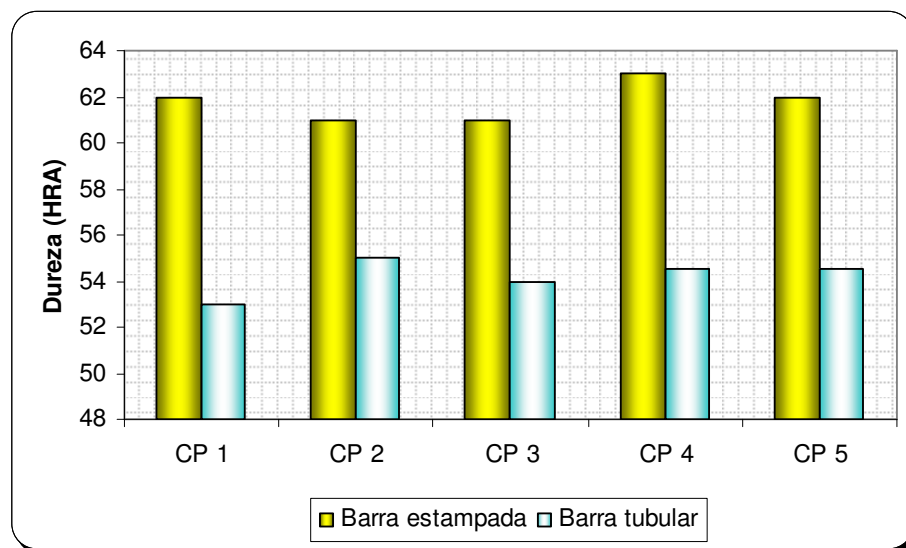


Figura 35 – Resultados do ensaio de dureza

5.3 ENSAIO DE TRAÇÃO

A Tabela 5 mostra a média e o desvio padrão dos cinco ensaios de tração que foram realizados (Apêndice C) em uma máquina da marca EMIC, modelo DL 10000, nas barras estampadas e cinco ensaios nas barras tubulares.

Tabela 5 – Resultados obtidos no ensaio de tração dos materiais

Material		Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento (%)
Barra estampada	média	721,2	973,6	13,2
	D.P.	33,079	11,171	1,095
Barra tubular	média	509,6	613,8	22,8
	D.P.	16,502	6,017	1,304

No gráfico da Figura 36, pode-se visualizar a diferença dos ensaios de tração para as cinco barras estampadas e as cinco barras tubulares. Os ensaios foram realizados com corpos-de-prova idênticos na matéria-prima, não nas barras, conforme descrito no Capítulo 4, item 4.5.

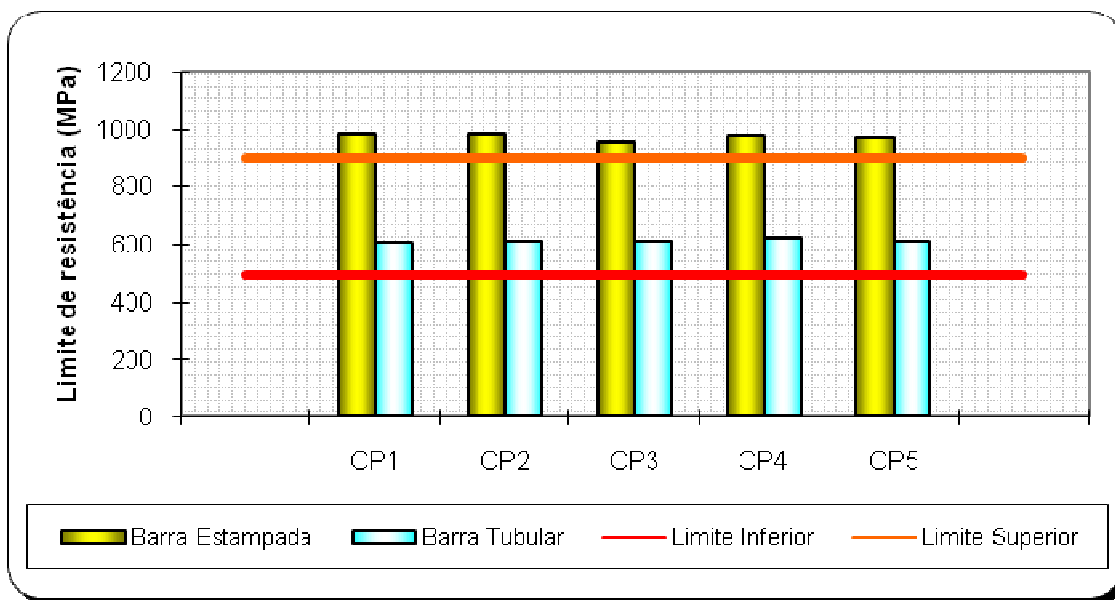


Figura 36 – Resultados do teste de tração

Com base nos resultados, pode-se verificar que a matéria-prima da barra estampada é consideravelmente superior à matéria-prima da barra tubular no quesito limite de resistência, porém isso é característico da qualidade dos aços EN 10142 (barra estampada) e aço EN 10305-2 (barra tubular) em questão, mencionados no item 5.2 a-c, onde estão contemplados em suas especificações.

5.4 ANÁLISE QUÍMICA

A Tabela 6 mostra os resultados da média e desvio padrão para os 2 tipos de barras de proteção lateral (Apêndice D), sendo executados por um espectômetro ultra violeta da marca LLA Instruments, modelo ESA 4000, conforme descrito e ilustrado no item 4.6 no Capítulo 4.

Tabela 6 – Resultados obtidos na análise química dos materiais

Material		C	Si	Mn	P	S	Al	Nb	V	Cr	Mo
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Barra Estampada	média	0,164	0,194	1,69	0,012	0,002	0,029	0,003	0,008	0,514	0,153
	D.P	0,005	0,009	0,02	0,001	0,001	0,004	0,001	0,001	0,009	0,006
Barra tubular	média	0,190	0,229	1,56	0,015	0,007	0,047	-	-	-	-
	D.P	0,012	0,017	0,06	0,002	0,002	0,012	-	-	-	-

5.5 METALOGRAFIA

A Figura 37 é ilustrada a microestrutura do aço (bifásico) da barra estampada e foi observada uma microestrutura constituída de tamanho de grão mais refinado de estrutura bifásica ferrita + martensita.

A Figura 38 mostra a microestrutura do aço (baixo carbono) do tubo. Observa-se uma microestrutura constituída de grãos de Perlita (escuro) e grãos de ferrita (clara).

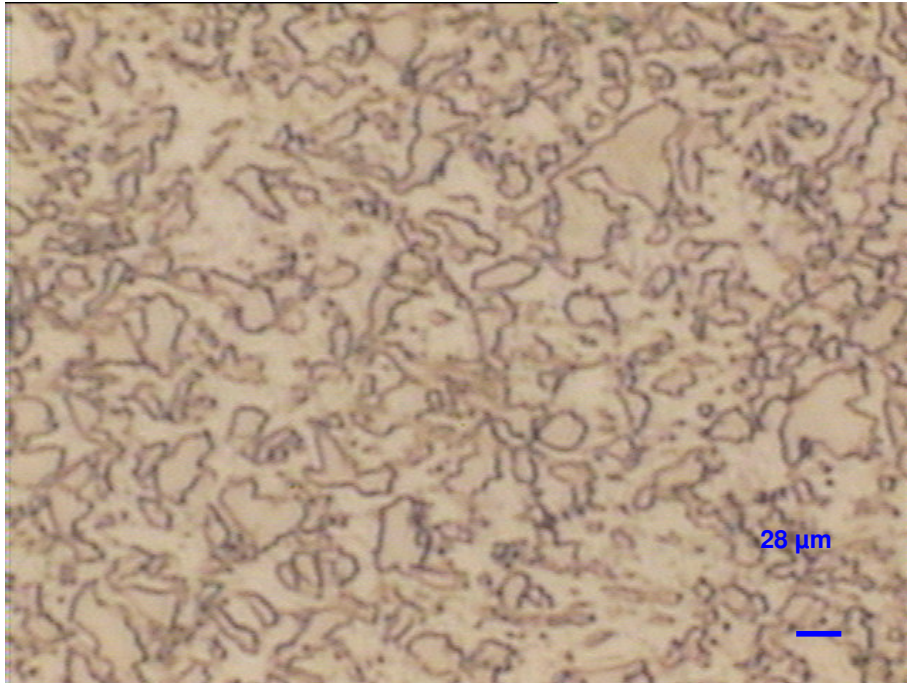


Figura 37 – Fotomicrografia. Aço EN 10142 da barra estampada. Aumento 500x. Ataque nital 2%

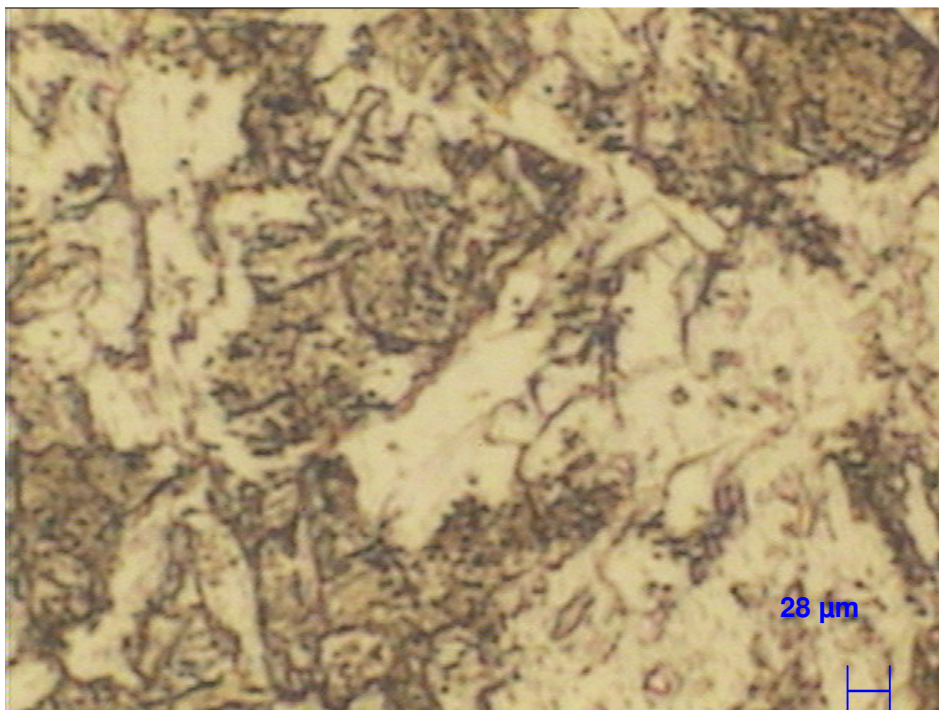


Figura 38 – Fotomicrografia. Aço carbono EN 10305-2 da barra tubular. Aumento 500x. Ataque nital 2%

5.6 ENSAIO DE CORROSÃO

O ensaio de corrosão é um dos ensaios mais realizados para peças automotivas estruturais. São aplicados apenas para peças tratadas superficialmente, sejam galvanizadas, pintadas ou até mesmo galvanizadas e pintadas.

Na Figura 39 pode-se notar a diferença visual das barras de proteção lateral tubular e estampada antes do ensaio de corrosão.

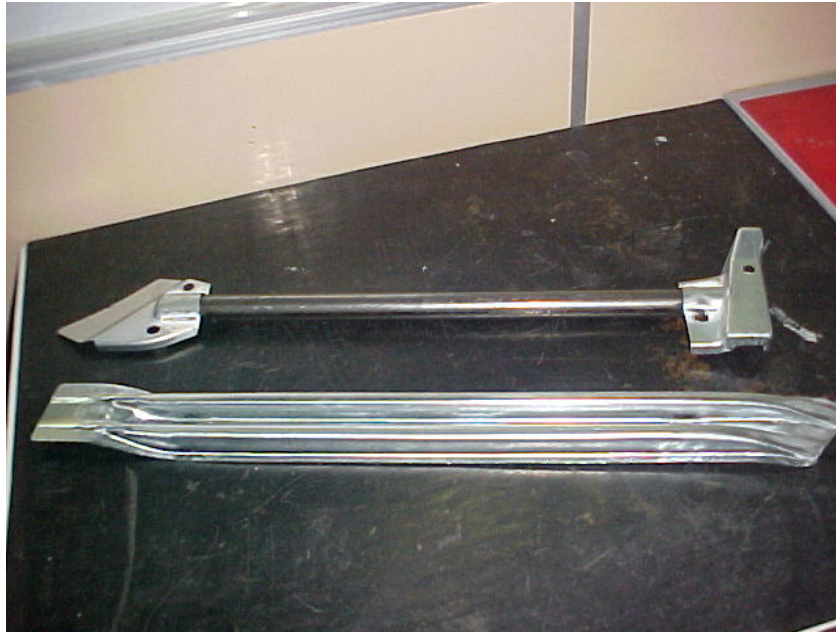


Figura 39 – Barras de proteção lateral tubular e estampada antes do ensaio de corrosão

Após o teste de corrosão, observa-se na Figura 40, que o material do tubo apresentou corrosão vermelha, ou seja, atingiu diretamente o material possibilitando assim uma maior fragilidade devido ao tubo não ter a proteção do tratamento superficial de zincagem, possibilitando a deterioração do mesmo, enquanto na Figura 41, é ilustrado o material da barra de impacto estampada que apresentou apenas corrosão branca.



Figura 40 – Peça com corrosão vermelha após 72 horas de *salt spray*



Figura 41 – Peça com corrosão branca após 72 horas de *salt spray*

No gráfico da Figura 42, foram observados qualitativamente os mesmos graus de corrosão para os cinco corpos-de-prova da barra estampada que é consideravelmente superior à matéria-prima da barra tubular, pois a barra estampada não apresentou corrosão vermelha antes de 72 horas em câmara de *salt-spray*, justamente devido ao processo de tratamento de proteção superficial com zincagem a quente e a barra tubular apresentou corrosão vermelha, sendo comprometedor para uma peça estrutural, com 36 horas de teste.

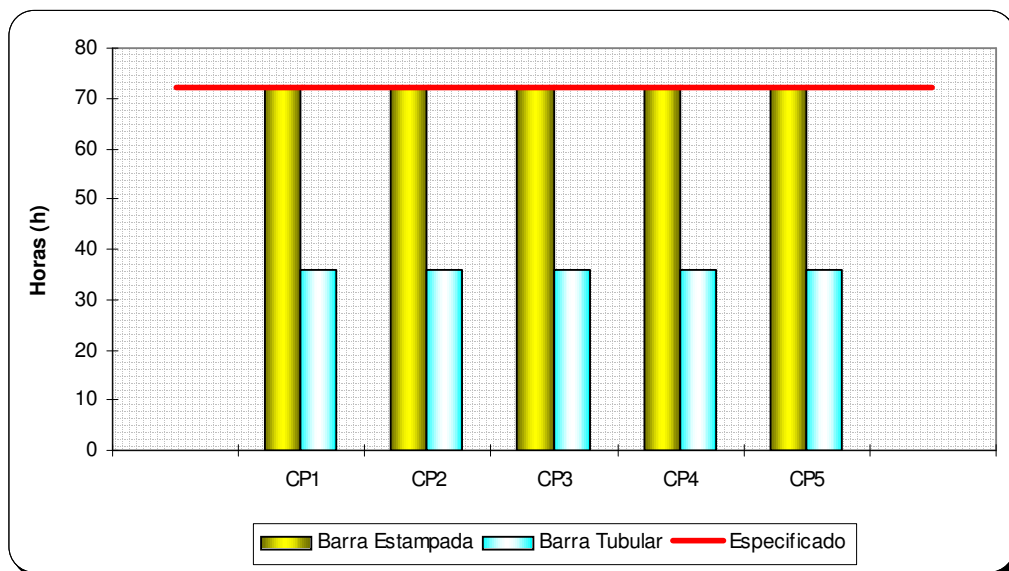


Figura 42 – Resultados do teste de corrosão

6 CONCLUSÕES

6.1 CONCLUSÕES DA DISSERTAÇÃO

Após análise dos resultados, podem-se obter as seguintes conclusões:

As barras de proteção lateral do tipo tubular tiveram uma vantagem de aproximadamente 32 % na força máxima, 44 % na deformação máxima, e 34 % de energia de flexão suportada devido a configuração geométrica da peça, ou seja, cilíndrica com o núcleo oco, sobre as barras estampadas.

As barras de proteção lateral do tipo tubular apresentaram valores inferiores de dureza, cerca de 13% e limite de resistência à tração 36% menor devido a composição e possivelmente devido aos mecanismos:

- d) solução sólida devido à presença de elementos microligados como nióbio, vanádio, cromo e molibdênio;
- e) menor tamanho de grão;
- f) transformação de fases (formação de fases ferrítica e martensítica no aço bifásico (aço da barra estampada).

As barras de proteção lateral do tipo tubular apresentaram uma microestrutura constituída de ferrita e perlita e as do tipo estampada apresentaram uma microestrutura ferrítica-martensita.

As barras de proteção lateral do tipo tubular tiveram uma desvantagem de 50% no tempo e tipo de corrosão vermelha devido ao processo de fabricação e processo de soldagem, sobre as barras estampadas que foram brancas.

Após os ensaios, conclui-se que os dois tipos de barras de proteção lateral veicular atendem arbitrariamente as necessidades dos clientes, mesmo sendo de projetos, materiais e processos de fabricação diferentes. Porém, algumas diferenças

como o peso e resistência à corrosão devem se levar em consideração que a barra de proteção lateral veicular estampada leva vantagem sobre a barra de proteção lateral veicular tubular que pelo menos deve sofrer um processo de pintura após ser montada na carroceria. Após essas considerações acima, fica a escolha de qualquer um dos tipos das barras de proteção lateral veicular restringindo-se apenas ao custo de manufatura que vigora durante o projeto do produto.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Constituir uma análise de custos para verificar a viabilidade de substituir peças automotivas estruturais com tratamentos térmicos por peças de aço de baixa liga e alta resistência.

Estender ensaios de flexão para peças automotivas estruturais que podem sofrer impacto em colisão no veículo.

Aplicar em todas as comparações de materiais e processos, recursos de microscopia para possibilitar outra forma de correlação entre as estruturas e propriedades mecânicas do material.

REFERÊNCIAS

ABENDE (São Paulo, SP). **Procedimentos de END - Ensaio visual e dimensional de soldas**: catálogo. São Paulo, Mar. 2004, 4 p.

ABDALLA, A. J.; HASHIMOTO, T. M.; HEIN, L. R. O.; PEREIRA, M. S. Mechanical behavior of strain aged dual phase steels. **Materials Science And Technology**, v. 15, n. 10, p. 1167-1170, 1999.

ABDALLA, A. J. **Subestruturas de discordâncias em um aço bifásico submetido a deformações cíclicas**. Guaratinguetá: Unesp, 1999. Tese de doutorado, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá.

AKISUE, O; USUDA, M. Development of High Strength Steels for Automobiles. **Nippon Steel Technical Rep.** V.88, n.57, 5-1, 1993.

ALBUQUERQUE, E. L. **Análise de problemas dinâmicos em materiais anisotrópicos usando o método dos elementos de contorno**. Campinas: Unicamp, 2001. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia Mecânica Universidade Estadual de Campinas.

ARTHUZO, A.; CAMARGO, J. R.; MIRON, L.; CAMILO JR, M. A. B.; CHAVES, C. A. **Estudo da influência da inclinação de soldagem no processo "GMAW" robotizado**. In: II workshop Cooperação Universidade Empresa - Unitau, 2006, Taubaté. II Workshop Cooperação Universidade Empresa - Unitau, 2006.

BAKER T.J. Current Hsla in Production. **Metals and Materials**, V. 3, n.2, 710 – 715, nov., 1989.

BAPTISTA, A. L. B. Aspectos metalúrgicos na avaliação da usinabilidade de aços. **Rev. Esc. Minas**, V.55, n.2, 35-42, abr., Ouro Preto, 2002.

BEGHINI, M.; BENAMATI, G.; BERTINI, L. and VALENTINI, R. "Effect of Hydrogen on Tensile Properties of Martensitic Steels for Fusion Application", **Journal of Nuclear Materials**, vols. 258-263, pp. 1295-1299, 1998.

BLECK, W.; KASPAR, R.; MUESCHENBORN, W.; RAKOSKI, F. Stahl und Eisen. **Genamics JournalSeek**, n.117, p 39, 1997.

BRACARENSE, A. Q. *Gas Metal Arc Welding*. **Artigo Infosolda**, 2003.

BROGE, J. L. **The battle of the metals: The emergence of high-strength steel**. SAE: Automotive Engineering International On Line, fevereiro de 2000. Disponível em <<http://www.sae.org/automag/metals/01>> Acesso em 11 set. 2006. 15:08:20.

BUTTON, S. T. Estudo do processo de embutimento profundo de copo pelo método dos elementos finitos, RBCM - **J. of the Braz. Soc. Mechanical Engineers**, V.21, n.2, 355-363, 1999.

CALDIN, R. **Estudo da conformabilidade na hidroconformação de recortes de chapas de aço soldados a laser**. Campinas: UNICAMP, 2006. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica Universidade Estadual de Campinas.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**. 5. ed, Rio de Janeiro: LTC. 2002.

CIMM (Centro de Informação Metal Mecânica). **Conformação de chapas: A estampabilidade dos materiais metálicos – Anisotropia**. Disponível em: <<http://www.cimm.com.br/materialdidatico>> Acesso em 23 abr. 2006.

COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**, 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1974.

DAVIES, R.G. *Formable HSLA and Dual-Phase Steels*. **Proceedings of an AIME Symposium**. 25-39, 1979.

DAMBORENEA, J. J. Mejora de la resistencia la corrosión de materiales metálicos mediante tratamiento láser, **Revista Metalúrgica de Madrid**, s/n, 63-67, 1999.

Deutsches Institut für Normung. **DIN 2393**: Welded precision steel tubes. Berlin, 1994. 6 p.

DIETZEI, W. and PFUFF, M. "The Effect of Deformation Rates on Hydrogen Embrittlement", Hydrogen Effects in Materials, A. W. Thompson and N. R. Moody (eds.), **The Minerals, Metals & Materials Society**, pp. 303-311, 1996.

DIXON, K. Explaining robotic GMAW, Welding. **Metal Fabrication**, s/n, 7-11, July, 1998.

DUARTE, E. N.; OLIVEIRA S. A. G. Estudo de calculo da influência da espessura das chapas na força de resistência dos freios em prensas. **Corte e Conformação**, out. 2005.

EFIMOV, A. A.; FONSHTEIN, N. M. GOLOVANENKO, S. A.; KULESHA, U. A.; ZORINA, O. Z., **Steel in the USSR**, n.18, 514, 1988.

EMIC, (Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda.). **Dobramento e Flexão**. Disponível em: <www.emic.com.br/artigos>. Acesso em 30 jan. 2007.

EVANGELISTA, S. H. **Diagrama de limite de conformação aplicados a análise por elementos finitos de um processo de estampagem de chapas metálicas**. São Carlos: USP, 2000. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, Universidade de São Paulo.

FARRAR, R.; HARRISON. P. L. *Acicular Ferrite in Carbon-Manganese Weld Metals*. **On Overview of Journal Material Science**. V.22, n.4, 3812-3820, 1997.

Federal Motor Vehicles Safety Standard. **49 CFR Ch. V**, 1998.

FERNANDES NETO, M., CHEUNG, N., GARCIA, A. **Investigação de inclusões não metálicas em aços produzidos por lingotamento contínuo, através do método de dissolução da matriz ferrítica**. In: Seminário sobre Fusão, Refino e Solidificação dos Metais- ABM, 31. Vitória, 08 a 10 de Maio, 2000.

FERRARESI, V. A.; MORAES, F. C.; LIMA, A. C. A influência do tipo de junta e parâmetros de soldagem MIG de alumínio na porosidade. **Soldagem e Inspeção**, v.8, n.4, 155-161, 2003.

FRACCAROLI, J. L. **Biomecânica: Análise dos movimentos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Cultura Médica. 1981.

GENTIL, V. **Corrosão**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

GOO, B. Y.; KEUM, Y. T. Expert drawbead models for sectional FEM analysis of sheet metal forming. **Journal of Materials Processing Technology**, 105, 2000.

GORNI, A. A. **Aplicação de aços ultra-finos na área automobilística**. In: I Workshop sobre Aplicação de Materiais na Área Automobilística - ABM, São Paulo, 10 a 14 de Dezembro, 2007.

GUIMARÃES, J. R. C.; PAPALÉO, R. **Metalurgia ABM** n.37, 617-622, 1981.

HAYAMI, J.; FURUKAWA, T. **Microalloying**, *Vanitech*, p.78-87, 1975.

HARPELL, E. T. Numerical Prediction of the Limiting Draw Ratio for Aluminum Alloy Sheet. ***Journal of Materials Processing Technology***. vol. 100, pp. 131-141, 2000.

KATO, T.; HASHIGUCHI, K.; TAKAHASHI, I.; IRIE, T. E.; OHASHI, N. Developments of dualphase steels. ***Proceedings of an AIME Symposium***. 199-220. 1981.

KENNY, E. D. Avaliação do Desempenho Anticorrosivo do Galvalume e do Aço Galvanizado após Exposição em Ambientes de Elevada Agressividade, 2º Colóquio Nacional de Corrosão Atmosférica, **IPT-ABRACO**, São Paulo, SP, set 1994.

KLEIBER, M.; ROJEK, J.; SOTCHI, R. Reliability Assessment for Sheet Metal Forming Operations. ***Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering***. vol.191, pp. 4511-4532, 2002.

KOCHKIN, N. I; CHIRKEVITCH, M. G. **Prontuário de Física Elementar** (Mir, Moscou, 1986).

LOFFREDO, M. C. M. **Resistência mecânica e tenacidade à fratura do osso cortical bovino**. Campinas: UNICAMP, 2006. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica Universidade Estadual de Campinas.

LONGO, W.P.; MONTEIRO, S. N., **Metalurgia** n. 43, p 406. 1987.

LUNARSKA, E.; OSOSKOV, Y.; and JAGODZINSKY, Y. "Correlation Between Critical Hydrogen Concentration and Hydrogen Damage of Pipeline Steel", ***Int. J. Hydrogen Energy***, vol. 22, n. 2/3, pp. 279-284, 1997.

MAIA, I. G. **Efeito da camada de nitretos na porosidade em soldas de eixos automotivos**, Campinas: UNICAMP, 2005. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.

MAID, O.; DAHL, W. STRASSBURGUER, MUESCHENBORN, W., **Stahl und Eisen**, n.108, 355-364, 1988.

MARQUES, P.V.; MODENESI, P.J.; BRACARENSE, A.Q. **Soldagem: Fundamentos e tecnologia**. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

MEADE, C. L. Accelerated Corrosion Testing. **Metal Finishing**. N.98, 540-542, 2000.

MIRON, L. **Estudo de causa dos efeitos da soldagem GMAW para o quadro auxiliar de automóveis**, Taubaté: UNITAU, 2007. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté.

MONTEIRO, A. L. A. **Um sistema para o cálculo da resistência mecânica de materiais frágeis pelo uso do método estatístico de Weibull**, Guaratinguetá: UNESP, 2001. Monografia (Especialização em Informática Empresarial), Faculdade de Engenharia, Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista.

MONTEIRO, L.S. **Estudo de ciclos térmicos em juntas soldadas de um aço de alta resistência e baixa liga através do método "in situ"**, Campinas: UNICAMP, 2004. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas.

MODENESI, P. J. **Descontinuidade e Inspeção em juntas soldadas** in: Belo Horizonte, 2001.

MORENO, M. E. **Desenvolvimento e implementação de metodologia de otimização da geometria do blank em processo de conformação de chapas metálicas**, São Carlos: USP, 2000. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Campus de São Carlos, Universidade de São Paulo.

NOLASCO, C. A. **Metalurgia** n.39, p 5. 1983.

OERTEL, L. C., COSTA E SILVA, A. L. V. **Aplicações do modelamento termodinâmico para a previsão do equilíbrio metal-escória em aciaria**. In: Seminário sobre Fusão, Refino e Solidificação dos Aços - ABM, 28. Campinas, 12 a 14 de Maio, 1997.

OSÓRIO, W. R. R. **Análise da influência dos parâmetros estruturais da solidificação de metais e ligas na resistência à corrosão.** Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2004, Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica.

OZTURK, F., LEE, D. Experimental and Numerical Analysis of Out-of-Plane Formability Test. **Journal of Materials Processing Technology**. vol. 170, pp. 247-253, 2005.

PANOSSIAN, Z. "Pós-tratamento do revestimento de zinco: Parte I", **Tratamento de Superfície**, n.83, p. 19-27, 1997.

PENHA, V. T. B. B. **Efeitos do congelamento e descongelamento sucessivo nas propriedades mecânicas em ossos corticais.** São Carlos: USP, 2004. Dissertação de mestrado, Campus de São Carlos, Universidade de São Paulo.

POEPCKE, J. S. Processos MIG / MAG. In: Ziedas, S.; Tatini, I. **Coleção Tecnológica Senai Soldagem.** São Paulo: Senai, 1997. 175 – 190.

POUND, B. G. "Hydrogen Trapping in High-Strength Steels", *Acta Mater.*, vol. 46, n. 16, pp. 5733-5743, 1998.

PRESSOUYRE, G. M.; FAURE, F. M. "Quantitative Analysis of Critical Concentrations for Hydrogen-Induced Cracking", in **Hydrogen Embrittlement: Prevention and Control**, Louis Raymond (ed.), pp. 353-371, STP 962, ASTM, Philadelphia, USA, 1988.

QUITES, A.; SCOTTI, A. Seleção de parâmetros de soldagem MAG evitando porosidades. **Metalurgia-ABM**, v.40, n319, 295-300, 1984.

RASHID, M. S., *Technical paper preprint 760206*, **Society of Automotive Engineers**, 1976.

REIS, L. C. **Estudos dos parâmetros de influência na simulação numérica de estampagem.** Tecnologia e metalurgia em materiais, São Paulo, v.1, n.2, 34-37, outubro, 2004.

RUIZ, D. C.; BATALHA, G. F. Estudo de definição do melhor modelo para a montagem de carrocerias. **Corte e Conformação**, São Paulo, n16, 16-35, ago 2006.

ROCABOIS, P. *Inclusions control in steel: from modeling, laboratory and on site trials to industrial applications*, In: **56º Congresso Anual da ABM**, Belo Horizonte, 16 a 19 de Julho, 2001.

SCHULER. **Metal Forming Handbook**. Berlin: Springer.1998.

SEARS, F; ZEAMANSKY, M; YOUNG, H. **Física**. 2ª ed, Rio de Janeiro: LTC. 1984.

SHAEFFER, L. Fundamentos do projeto de ferramentas para o processo de estampagem, **Corte e Conformação**, Porto Alegre, n11, p. 31-36, mar-abr. 2006.

SHASTRY, C. R., TOWNSEND, H. E. "Mechanisms of cosmetic corrosion in painted zinc and zinc alloy coated sheet steels", **Corrosion**, n. 45, p. 103-119, 1989.

SILVA, A. V. **Modelo de suspensão pela Cauda e seu Efeito em Algumas Propriedades Mecânica do Osso do Rato**. São Carlos: USP, 2002. Dissertação de mestrado, Campus de São Carlos, Universidade de São Paulo.

SOUZA, S. A. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos**. 5ªed, São Paulo: Edgard Blucher. 1982.

STOUGHTON, T. B. A General Forming Limit Criterion for Sheet Metal Forming. **International Journal of Mechanical Sciences**. vol. 42, pp.1-27, 2000.

TAKECHI, H., Int. **J. of Vehicle Design**. N.11, 3-17, 1990.

TEBECHERANI, C. T. P. **Noções básicas sobre tubo de aço carbono com costura**, 2006. Disponível em <http://www.pipesystem.com.br>. Acesso em: 12 mar. 2007, 14:00:03.

TREJO, D.; MONTEIRO, P.; THOMAS, G. **Cement and Concrete Research**. n.24, p 1245, 1994.

TSH. **Solda Arc Welding**. "definition of properties ", p 2-10. Rev. 2, 2005.

UCHIMURA, M. S. **Teste da Névoa Salina**, Curitiba, PR, p. 1, fev. 2007.

ULSAB, **Ultra Light Steel Auto Body**. 2005. Disponível em <<http://ww.ulsab.org>>. Acesso em 13 fev. 2005, 16:03:02.

APENDICE

APÊNDICE A - Resultados obtidos no teste de flexão

Item	Estampado			Tubular		
	Força máxima (kN)	Deformação máxima (mm)	Energia (J)	Força máxima (kN)	Deformação máxima (mm)	Energia (J)
CP 1	6,44	83,74	791,40	10,01	151,50	1179
CP 2	6,47	88,67	797,00	9,80	158,70	1235
CP 3	6,45	84,99	792,50	9,23	160,90	1275
CP 4	6,47	88,57	796,89	9,08	140,30	1078
CP 5	6,47	88,70	797,10	9,03	159,90	1245
Média	6,46	86,93	794,97	9,43	154,26	1202,4
D. P.	0,015	2,387	2,792	0,446	8,633	77,735

APÊNDICE B – Resultados obtidos no ensaio de dureza

Material	CP	HRA	HB	HV
Barra tubular	1	53	165	173
	2	55	177	186
	3	54	174	183
	4	54,5	174	183
	5	54,5	174	183
Barra estampada	1	62	246	255
	2	61	245	254
	3	61	246	255
	4	63	258	261
	5	62	246	255

APÊNDICE C – Resultados obtidos no ensaio de tração dos materiais

Material	Item	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento (%)
Barra estampada	CP 1	773	982	12
	CP 2	735	985	13
	CP 3	706	957	15
	CP 4	697	975	13
	CP 5	695	969	13
Barra tubular	CP 1	510	608	22
	CP 2	499	612	22
	CP 3	499	612	22
	CP 4	538	624	25
	CP 5	502	613	23

APÊNDICE D – Resultados obtidos na análise química dos matérias

Material	CP	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Al (%)	Nb (%)	V (%)	Cr (%)	Mo (%)
Barra Estampada	1	0,17	0,19	1,71	0,012	0,001	0,024	0,004	0,008	0,51	0,145
	2	0,17	0,18	1,72	0,011	0,003	0,025	0,004	0,007	0,50	0,162
	3	0,16	0,20	1,67	0,013	0,002	0,032	0,003	0,009	0,52	0,153
	4	0,16	0,20	1,67	0,013	0,002	0,032	0,003	0,009	0,52	0,153
	5	0,16	0,20	1,68	0,013	0,002	0,032	0,003	0,009	0,52	0,152
Barra tubular	1	0,18	0,211	1,45	0,017	0,009	0,056	-	-	-	-
	2	0,19	0,220	1,60	0,014	0,006	0,055	-	-	-	-
	3	0,19	0,220	1,60	0,014	0,006	0,055	-	-	-	-
	4	0,18	0,244	1,60	0,015	0,006	0,043	-	-	-	-
	5	0,21	0,251	1,58	0,019	0,009	0,028	-	-	-	-

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)