

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Departamento de Engenharia Mecânica
Curso de Pós-Graduação em Engenharia da Soldagem

Fábio Eduardo Lopes
Felipe Silveira Santos

**ESTUDO SOBRE A EVOLUÇÃO DOS PROCESSOS DE UNIÃO NA
INDÚSTRIA AUTOMOBILISTA**

Belo Horizonte
2020

Fábio Eduardo Lopes
Felipe Silveira Santos

ESTUDO SOBRE A EVOLUÇÃO DOS PROCESSOS DE UNIÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILISTA

MONOGRAFIA DE FINAL DE CURSO

Monografia de especialização apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia da Soldagem.

Orientador: Alexandre Queiroz Bracarense.

Belo Horizonte
2020

L864e

Lopes, Fábio Eduardo.

Estudo sobre a evolução dos processos de união na indústria automobilista [recurso eletrônico] / Fábio Eduardo Lopes, Felipe Silveira Santos. - 2020.

1 recurso online (85 f.: il., color.) : pdf.

Orientador: Alexandre Queiroz Bracarense.

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia de Soldagem da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para a obtenção do título de Especialista em Soldagem.

Bibliografia: f. 79-85.

1. Soldagem. 2. Indústria automobilística. 3. Juntas soldadas.
I. Bracarense, Alexandre Queiroz, 1959-. II. Santos, Felipe Silveira.
III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia.
IV. Título.

CDU: 621.791



Universidade Federal de Minas Gerais
ESCOLA DE ENGENHARIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Curso de Especialização em Soldagem

Ata 03ª/2020 da Defesa de Monografia de Especialização

No dia 10 de setembro de 2020, às 16:00 h, a Comissão Examinadora se reuniu remotamente para avaliar o trabalho:

Título: "ESTUDO SOBRE A EVOLUÇÃO DOS PROCESSOS DE UNIÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILISTA".

Alunos: FELIPE SILVEIRA SANTOS – Matrícula: 2018701040
FÁBIO EDUARDO LOPES – Matrícula: 2018701031

Local: Remotamente via plataforma "GOOGLE MEET".

Parecer:

A Comissão Examinadora, após a apresentação pelo (a) candidato (a) durante 66 minutos e após ter arguido o(a) candidato(a) por 40 minutos, é de parecer favorável à aprovação do trabalho de monografia com a nota final de 75 e com (com ou sem) sugestões de modificação.

Sugere-se o prazo de 60 dias para efetuar-se as modificações sugeridas com revisão final acompanhada e homologada pelo orientador Prof. Dr. Alexandre Queiroz Bracarense.

Assinaturas:

Prof. Dr. Alexandre Q. Bracarense
DEMEC/UFMG – Orientador

Prof. Dr. Ariel Rodriguez Arias
DEMEC/UFMG - Avaliador

Etienne Pereira de Andrade
Avaliador

Aluno: Felipe Silveira Santos

Aluno: Fábio Eduardo Lopes

*Faço aqui uma dedicação especial a minha Esposa,
MARINA DE OLIVEIRA CLAUDINO LOPES, que
amo tanto e que dedicou seu tempo em prol de nossa
filha e de nossa família enquanto eu estava
cursando a pós, muito obrigado meu amor.*

Fábio Eduardo Lopes

À minha família e amigos pelo apoio e por acreditarem no meu sonho, em especial a minha avó Maria de Lourdes e minha mãe Cleonice, alicerces da minha vida, minha esposa e companheira Josiane, meus braços direito e esquerdo, assim como meu maior bem, porto seguro nos momentos mais difíceis, minha filha Letícia.

Felipe Silveira Santos

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela inspiração e pela oportunidade de realizar este sonho.

A todos os professores e membros do corpo docente do Curso de Especialização em Soldagem que contribuíram ao longo desses dois anos para a formação do nosso conhecimento e nos ajudaram a chegar até aqui. Em especial ao professor Alexandre Queiroz Bracarense, orientador desse trabalho, por aceitar ser o nosso orientador e por compartilhar conosco da sua vasta experiência. Obrigado pela confiança depositada em cada um de nós e por todo o tempo dedicado à nossa turma.

Aos integrantes da Fundação Christiano Ottoni, sempre nos apoiando e ajudando a nos organizarmos, pela paciência e dedicação em todos os momentos.

Aos amigos, familiares, aos amigos que fizemos neste curso e que certamente levaremos para sempre.

RESUMO

A Soldagem é um processo que promove a união de diferentes peças principalmente a partir da fusão localizada. O objetivo principal é a união/fusão das partes, fazendo com que se comportem como uma só sem comprometer as propriedades físicas e químicas dos materiais soldados. A história da soldagem foi impulsionada pela revolução industrial a partir do descobrimento do arco elétrico que se deu no ano de 1801. Em 1877, a soldagem por resistência foi estudada e em 1885, foi desenvolvida a soldagem por arco elétrico, utilizando um eletrodo de grafite e que mais tarde foi substituído por um arame metálico que, décadas depois se tornaria o processo de solda mais popular entre todos até os dias de hoje. Neste texto, será mostrada a evolução dos processos de soldagem utilizados na indústria automotiva.

Palavras-chave: Desenvolvimento. Histórico. Indústria automotiva. Junta. União. Processo de Soldagem.

ABSTRACT

Welding is a process that promotes the union of different parts mainly by localized fusion. The main purpose is the junction / fusion of the parts, by making them to behave as one, without compromising the physical and chemical properties of the welded materials. The history of welding began in 1801, during the industrial revolution, when the electric arc was discovered. In 1877, resistance welding was studied and, in 1885, arc welding was developed using graphite electrode which was later replaced by metal wire. A few decades later, arc welding became the most popular process. In this text, the evolution of the welding processes applied on automotive industry was presented.

Keywords: Development. History. Automotive Industry. Joint. Union. Welding Process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Patente americana concedida a Bernardos e Olszweski em 1887.....	15
Figura 2 – Transformador para solda resistência patenteado por Elihu Thompson em 1886. .	16
Figura 3 – Eletrodos de Oscar Kjellberg sendo produzidos.	17
Figura 4 – Sistema de soldagem por corrente alternada patenteado por Holslag em 1919.	18
Figura 5 – Panfleto sobre o novo sistema de soldagem da General Electric em 1921.	19
Figura 6 – Utilização do arco submerso na década de 1930.	21
Figura 7 – Patente de R Meredith para o processo nomeado de Heliarc®.....	22
Figura 8 – Protótipo do veículo de autopropulsão de Da Vinci.	25
Figura 9 – Réplica do veículo militar de Nicolas-Joseph Cugnot.	26
Figura 10 – Primeiro veículo comercial com o motor de combustão interna de Lenoir.	27
Figura 11 – Primeiros automóveis alemães de Karl Benz (a) e Gottlieb Daimler (b).....	27
Figura 12 – Versões do Ford Model T produzidas a partir de 1914.....	28
Figura 13– Vista explodida do chassi do Ford Model T.	29
Figura 14 – Ford Model T em vista explodida.	30
Figura 15 – Processos de união utilizados na indústria automotiva.	32
Figura 16 – Processo de rebite com rebite auto perfurante.	36
Figura 17 – Revestimento e fixação de disco de embreagem rebitados.....	36
Figura 18 – Processo convencional de prensagem para fixação.	37
Figura 19 – Soldagem manual a ponto nos anos 50 na indústria automotiva.	40
Figura 20 – Soldagem manual a ponto nos anos 60 na indústria automotiva.	40
Figura 21 – Pinças de solda a ponto dos tipos Corsoio e Fulcro.	41
Figura 22 – Ciclo de soldagem a ponto por resistência.	41
Figura 23 – Conjunto de Fresadora Completo.	43
Figura 24 – Indentação excessiva na soldagem a ponto.	44
Figura 25 – Peça galvanizada com porcas soldadas por projeção.	45
Figura 26 – Posicionamento preciso de componentes para soldagem por projeção.	46
Figura 27 – Célula com equipamento de soldagem por projeção.....	47
Figura 28 – Equipamento esquemático de soldagem por costura e os tipos possíveis.....	48
Figura 29 – Tanque de combustível soldado por costura.	49
Figura 30 – Arco elétrico no processo GTAW.....	50
Figura 31 – Soldagem a arco com eletrodo revestido.	51
Figura 32 – Cabeçote em alumínio recuperado com o processo GTAW.	53

Figura 33 – Escapamento em aço inoxidável soldado e anodizado pelo processo GTAW;	53
Figura 34 – (a) Processo GMAW manual; (b) processo GMAW robotizado.	54
Figura 35 – Brasagem manual por chama na indústria automotiva na década de 60.	55
Figura 36 – Brasagem por (a) chama; (b) indução e (c) em forno.	56
Figura 37 – Equipamento esquemático MIGBrazing.	57
Figura 38 – Junta automotiva soldada por MIGBrazing.	58
Figura 39 – Soldabrasagem por MIG Brazing.	59
Figura 40 – Junta adesivada.	60
Figura 41 – Junta com utilização de adesivos na indústria automotiva.	61
Figura 42 – Utilização de adesivos na indústria automotiva em substituição à soldagem.	62
Figura 43 – Utilização de adesivos na indústria automotiva em substituição à soldagem.	63
Figura 44 – Utilização de adesivo na região da lanterna traseira em automóvel.	63
Figura 45 – Utilização de robôs para a aplicação de adesivos na indústria automotiva.	64
Figura 46 – Mecanismo esquemático para produção do LASER.	67
Figura 47 – Soldagem a LASER por Key Holing.	68
Figura 48 – Regiões de soldagem a LASER na carroceria do VW Polo Sedan.	69
Figura 49 – Exemplo de <i>Taylor Welded Blank</i> antes e depois do processo de conformação. .	71
Figura 50 – Estudos de Da Vinci para a construção de um robô humanoide.	72
Figura 51 – Linha robotizada de soldagem a ponto.	73
Figura 52 – Soldagem GMAW robotizada de carroceria automotiva.	74
Figura 53 – Soldagem robotizada a LASER de carroceria automotiva.	74
Figura 54 – Componentes soldados por ultrassom.	75
Figura 55 – Comparação entre sonotrodos para soldagem por ultrassom.	76
Figura 56 – (a) Junta soldada por fricção; (b) princípio do processo Friction Stir Welding.	77
Figura 57 – Junta híbrida de alumínio e compósito.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela com evolução histórica dos processos de soldagem.	24
Tabela 2 – Comparativo de utilização de métodos de união em automóveis atuais.	38

LISTA DE SIGLAS

a.C – Antes de Cristo.

AWS – American Welding Society.

ESAB – Elektriska Svetsnings Aktie Bolaget.

ESW – Electroslag Welding. Soldagem por eletroescória.

EUA – Estados Unidos da América.

GMAW ou MIG/MAG – Gas Metal Arc Welding ou Metal Inert Gas / Metal Active Gas.

GTAW ou TIG – Gas Tungsten Arc Welding ou Tungsten Inert Gas.

H.M.S – Her Majesty's Ship. Navio da marinha britânica.

LASER – Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation.

LBW – LASER beam welding.

R.M.S – Royal Mail Ship. Navio do correio Real

SAW – Submerged Arc Welding. Soldagem a arco submerso.

PAW – Plasma Arc Welding. Soldagem a plasma.

PCS – Peças.

TWI – The Welding Institute.

TWB – Tailor Welded Blank.

USS – United States Ship. Navio da marinha americana.

URSS – União das Repúblicas Socialistas Soviéticas.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Objetivos.....	14
2 HISTÓRIA DA SOLDAGEM	15
3 HISTÓRIA DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA	25
4 OS PROCESSOS DE UNÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA.....	31
5 JUNTAS E UNIÕES MECÂNICAS.....	33
5.1 Pinos.....	33
5.2 Porcas e Parafusos.....	34
5.2.1 Parafusos Passantes	34
5.2.2 Parafusos Não Passantes	34
5.2.3 Parafusos de Pressão.....	34
5.2.4 Parafusos Prisioneiros	35
5.3 Rebitagem.....	35
5.4 Prensagem	37
5.5 Dobramento.....	37
6 SOLDA POR RESISTÊNCIA.....	39
6.1 Soldagem a Ponto	39
6.1.1 Vantagens e Limitações.....	42
6.2 Soldagem por Projeção	45
6.3 Soldagem por Costura.....	48
7 SOLDAGEM A ARCO	50
7.1 Soldagem por Eletrodo Revestido (SMAW)	51
7.2 Soldagem TIG (GTAW).....	52
7.3 Soldagem MIG/MAG (GMAW).....	54
8 BRASAGEM E SOLDABRASAGEM	55
8.1 Soldabrasagem.....	57
9 UNIÃO COM ADESIVOS.....	60
9.1 Usos de Adesivos	61
9.2 Vantagens e Desvantagens dos Adesivos	65
10 SOLDAGEM A LASER.....	66

10.1 Mecanismo de Emissão do LASER e Técnicas de Soldagem	66
10.2 Vantagens e Desvantagens da Soldagem a LASER.....	68
10.3 Avanços na Soldagem LASER	70
<i>10.3.1 Soldagem de Tailor Welded Blanks</i>	<i>70</i>
11 ROBOTIZAÇÃO DA SOLDAGEM NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA.....	72
12 OUTROS PROCESSOS APLICADOS À INDUSTRIA AUTOMOTIVA	75
12.1 Soldagem por Ultrassom	75
12.2 Soldagem por Fricção (Friction Stir Welding)	76
12.3 Junções Híbridas	77
13 CONCLUSÕES.....	78
REFERÊNCIAS	79

1 INTRODUÇÃO

Desde o início da indústria automotiva, no fim do século XIX, a fabricação de automóveis vem experimentando constantes evoluções, desde motores a cada dia mais modernos, até carrocerias mais leves e resistentes, tudo com o intuito de tornar os veículos mais seguros, eficientes e atraentes para o mercado consumidor.

Essas constantes evoluções na produção de automóveis exigiram o avanço nas tecnologias de fixação dos mais variados componentes dos automóveis. Seja devido ao aprimoramento dos projetos estruturais dos veículos ou mesmo pela evolução dos materiais utilizados na fabricação dos mesmos, o certo é que os modos de união e fixação de peças e componentes utilizado na fabricação dos veículos automotores tem se modificado a cada dia mais.

Peças e componentes que antes eram produzidos basicamente em madeira e aços de baixa qualidade (se comparados aos aços produzidos atualmente), foram mudando de forma, tamanho e peso, e sendo substituídas ao longo do tempo por componentes fabricados em plásticos, alumínio e aços especiais de microestrutura complexa. Assim como processos de união por forjamento, fundição, parafusos ou rebites, cederam lugar a diversos processos de soldagem ou até mesmo colagem por adesivos.

1.1 Objetivos

A demanda por carros cada vez mais econômicos, seguros e com o menor peso possível é crescente, ainda mais se levados em conta aspectos ambientais e legislações que pretendem reduzir os impactos da indústria automotiva sobre o meio ambiente. Assim sendo é possível antever que novos materiais continuarão a ser desenvolvidos, e conseqüentemente novas tecnologias de fixação.

Nesse contexto, o presente trabalho tem por objetivo relacionar as evoluções tecnológicas da soldagem com sua utilização na indústria automotiva, assim como apresentar as formas mais modernas de união e fixação dos mais variados componentes dos modernos automóveis.

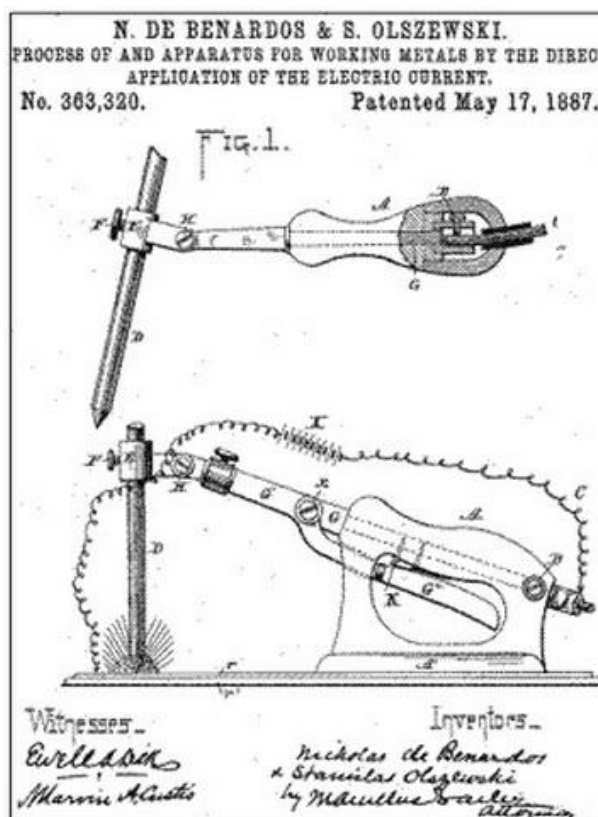
Para tal um breve histórico tanto da soldagem quanto da indústria automobilística serão apresentados.

2 HISTÓRIA DA SOLDAGEM

De acordo com Pires (2005), a soldagem tem seus primeiros registros nos tempos antigos, mais precisamente na Idade dos Metais, na qual a união entre metais (primeiramente cobre e bronze) era feita por martelamento, numa espécie de forjamento. Há registros de que os egípcios e povos na região do mediterrâneo oriental tenham dominado a união do ferro por volta de 1000 a.C (muitas ferramentas datadas desta época foram encontradas).

Ainda segundo Pires (2005), a história da soldagem como conhecida hoje tem início no começo do século XIX, quando Sir Humphry Davy conseguiu produzir um arco elétrico controlado entre dois eletrodos de carbono usando uma bateria, Ainda no século XIX registra-se o surgimento da soldagem e do corte utilizando chama, além da soldagem por resistência (1856), quando James Joule conseguiu unir arames de cobre. No final do mesmo século, em 1881, Auguste De Meritens, trabalhando no Laboratório Cabot na França, usou o calor de um arco elétrico para juntar placas, técnica aperfeiçoada e patenteada por seu aluno russo Nikolai N. Benardos na França e depois juntamente com seu colega Stanislaus Olszewski na Inglaterra (1885) e nos EUA (1887). A Figura 1 traz a patente obtida por Bernardos e Olszewski em 1887.

Figura 1 – Patente americana concedida a Bernardos e Olszewski em 1887.

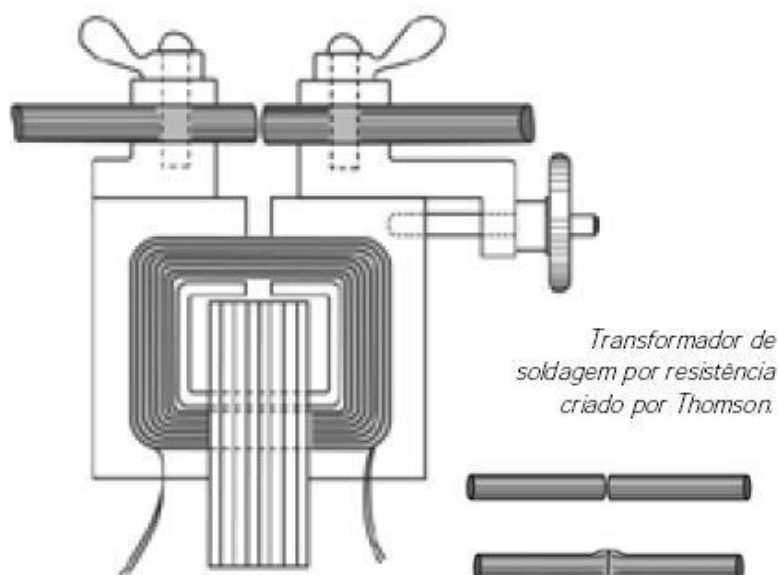


Fonte: (WIKIMEDIA COMMONS, 2020).

Em 1890, Charles. L. Coffin obteve a primeira patente americana para um processo de soldagem a arco usando um eletrodo metálico, no qual metal líquido era transferido através do arco elétrico diretamente para a junta a ser unida. Na mesma época, na Rússia, Nikolai G. Slavianoff, apresentava a mesma ideia, mas utilizando um molde para dar forma ao metal.

Paralelamente à soldagem à arco, Elihu Thompson dava continuidade aos processos de soldagem por resistência iniciados com James Joule (1856), desenvolvendo e patenteado em 1886 um transformador para de soldagem de topo por resistência, mostrado na Figura 2. Além disso Thompson desenvolveu e patenteou ainda equipamento para soldagem por pontos, costura e projeção (suas patentes datam entre 1886 e 1900).

Figura 2 – Transformador para solda resistência patenteado por Elihu Thompson em 1886.



Fonte: (Notas de aula, 2018).

No final do século XIX, o químico alemão Hans Goldschmidt inventou a soldagem por aluminotermia, um processo termoquímico composto por uma mistura de óxidos e alumínio puro que, após ativado por uma fonte de energia externa, é capaz de se sustentar e gerar grande quantidade de calor, produzindo metal líquido e óxido de alumínio (alumina). Foi utilizado pela primeira vez para soldar trilhos ferroviários, mas ainda hoje encontra aplicações.

Entre o final do século XIX e o início do século XX a soldagem e o corte a gás também sofreram avanços especialmente quanto à produção e armazenamento de gases como oxigênio e acetileno, em substituição ao hidrogênio e o gás de carvão, além da introdução de um tubo de sopro de ar durante o corte (oxicorte) por volta de 1887 e do desenvolvimento de uma tocha adequada para uso com acetileno de baixa pressão por volta de 1900 (WELDINGHISTORY).

Ainda de acordo com Pires (2005), a primeira década do século XX trouxe significativas evoluções aos processos de soldagem. Aproximadamente em 1900, o inglês Arthur P. Strohmenger criou um eletrodo metálico revestido com uma fina camada de argila e cal, que proporcionava um arco mais estável. Além disso avanços como o uso comercial dos processos de oxiacetileno, a soldagem de placas de alumínio usando cobre e os avanços na soldagem por resistência (como o primeiro processo de solda a ponto) também marcaram a primeira metade da década de 1910. A partir de partir de 1907, quando os alemães Siemund e Wiezell patentearam nos EUA um método de soldagem a arco para metais, a Enderlein Electric Welding Company foi fundada na Alemanha e a Lincoln Electric Company apresentou a primeira máquina de solda em corrente contínua com tensão variável, esses avanços da ciência da soldagem se tornaram mais efetivos.

Neste mesmo ano, e com aprimoramentos até 1914, o que lhe renderia ao menos duas patentes, o sueco Oscar Kjellberg (que viria a se tornar o fundador da ESAB) criou eletrodos revestido produzidos a partir curtos fios de ferro nu mergulhados em grossas misturas de carbonatos e silicatos, e deixados a secar. Na Figura 3 é mostrada a produção de Kjellberg.

Figura 3 – Eletrodos de Oscar Kjellberg sendo produzidos.



Fonte: (ESAB, 2005).

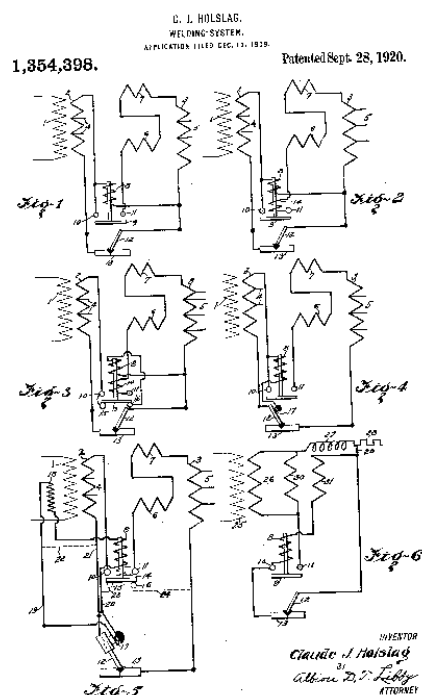
Ainda na segunda metade da década, tem início a fabricação do R.M.S Titanic utilizando a soldagem, assim como um novo eletrodo criado por Strohmenger e o desenvolvimento do arco de plasma pelo físico Schonner, da empresa alemã BASF, tudo apenas em 1909. Em 1912 Edward Gowen Budd utilizou a soldagem na fabricação de uma carroceria automotiva pela primeira vez.

Com o advento da Primeira Guerra Mundial em 1914, a demanda por produção de armamentos e insumos bélicos abriu as portas para o avanço da soldagem. Nessa época várias empresas do ramo surgiram na América e na Europa a fim de atender às necessidades da guerra. Este período também marcou a evolução da soldagem por resistência, da soldagem ponto e da soldagem a arco, em especial devido à falta de gás na Inglaterra, levando à criação de vários equipamentos licenciados a partir de 1916, de acordo com o *site* [Weldinghistory](#).

Ainda durante a Primeira Guerra, o holandês Anthony Fokker utilizou a soldagem para a fabricação da fuselagem de aviões de guerra alemães, o primeiro navio com casco soldado (H.M.S Fullagar) foi produzido na Grã-Bretanha e a soldagem foi aplicada a reparação de 109 navios americanos sabotados por alemães, navios estes que mais tarde transportariam as tropas americanas pelo Oceano Atlântico até o desembarque na França no dia “D”.

Após a guerra em 1919, foi criada a AWS (*American Welding Society*), uma organização sem fins lucrativos dedicada ao avanço da soldagem e processos a ela associados. Coincidentemente no mesmo ano Claude J. Holslag obteve a primeira patente para um transformador de corrente alternada para aplicação em soldagem, como mostra a Figura 4, contudo sua aplicação só se popularizou na década de 1930, quando eletrodos revestido adequados à corrente alternada começaram a surgir, inclusive com mais algumas patentes registradas por Holslag.

Figura 4 – Sistema de soldagem por corrente alternada patenteado por Holslag em 1919.



Fonte: (GOOGLE PATENTES, 2020).

A década de 1920, trouxe inúmeras evoluções para o campo da soldagem, a começar pelo desenvolvimento da soldagem automática, representando o que pode ser chamado como o início do processo GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), por P.O. Nobel, da General Electric. O processo utilizava arames sem revestimento e operava em corrente contínua, além de utilizar a tensão do arco como base para regular a velocidade de alimentação do arame. Inicialmente o novo processo foi bastante utilizado para reparar eixos de motor e rodas de guindastes desgastadas, e na indústria automobilística foi amplamente utilizado na produção de carcaças para eixos traseiros. A Figura 5 mostra um panfleto sobre a nova tecnologia da General Electric.

Figura 5 – Panfleto sobre o novo sistema de soldagem da General Electric em 1921.

JUNE 1921 RAILWAY MECHANICAL ENGINEER

The secret of building specialized equipment is to build it so that it will do the specific thing for which it is designed



Whether It's a Big Job or a Little One—Weld It

From the cab plates of a huge locomotive to the tiny seam on a nickel plated bathroom fixture, electric arc welding has won for itself a predominant place in production. It has provided a means of doing the old job quicker, at less cost, with greater strength and longer life than the ordinary bolted or riveted joint.

There is a G-E arc welding set for almost every purpose, whether it requires a portable or stationary, single or multi-operator, or automatic equipment. No matter if the available current is direct or alternating—G-E sets are built to suit either one,

or may be driven by an engine or from a line shaft.

Every possible phase of welding has been studied by G-E engineers. Their experience and their knowledge should be helpful to any manufacturer who contemplates the use of electric arc welding. The school for welders at Schenectady is free and open to men desirous of learning practical welding.

Add to these facts the proven advantages of electric arc welding as a production, repair and salvage measure, and then put your own problem up to G-E Specialists. If you can profitably use electric welding, they will show you how. If you can't they will tell you why.

Select the right equipment for the work—and a welder who knows his business

Bulletins describing G-E Welding Equipment and the G-E Welding School sent on request to our nearest Office

General Electric Company
 General Office Schenectady, N.Y. Sales Offices in all large cities

410-378

Fonte: (PROGRESS IS FINE, 2020).

Ao longo da década de 20 os eletrodos revestidos foram ganhando mais espaço não só na indústria, mas também entre os profissionais autônomos e a população de modo geral. Os efeitos da solda já eram melhor compreendidos, e a guerra trouxera grandes experiências, como a utilização da soldagem em fuselagem de aviões e na construção de navios. Pesquisas consideráveis na área de proteção do arco por gases aplicados externamente avançaram. A atmosfera de oxigênio e nitrogênio em contato com o metal de solda fundido causou soldas frágeis e, por vezes, porosas. Alexander Weinman e Irving Langmuir, trabalhando em câmaras de hidrogênio, desenvolveram a soldagem a arco utilizando hidrogênio atômico, processo que fornecia um arco intenso, capaz de produzir tanto calor quanto uma chama de oxiacetileno. O hidrogênio atômico, contudo, nunca se tornou popular, ainda sim foi usado durante as décadas de 1930 e 1940 para aplicações especiais de soldagem e mais tarde para soldagem de aços de ferramentas de acordo com Pires (2005). Ainda segundo Pires (2005) H.M. Hobart e P.K. Devers desenvolviam trabalhos semelhantes, contudo usando atmosferas de argônio e hélio, vindo a dar origem em 1926 a um processo mais próximo do processo GMAW como conhecemos hoje. Ainda em 1926 P. W Swain, funcionário do Laboratório Naval de Pesquisas, apresentou um artigo falando sobre o uso de radiografias pra verificação da qualidade de soldas com o nome “*X-ray tests of weld*”, no qual mostrava o uso de radiação *gamma* para a detecção de falhas em uniões soldadas, vindo a ser considerado mais tarde um dos primeiros ensaios não destrutivos desenvolvido (WELDINGHISTORY, 2020).

De acordo com Pires (2005), a década de 30 trouxe inovações como o processo *Stud Welding* (processo a arco desenvolvido para soldagem de pinos), que logo se popularizou nas indústrias naval e da construção civil. Outro desenvolvido no período foi o arco submerso (SAW – *Submerged Arc Welding*) automatizado, desenvolvido e patenteado por Robinoff e posteriormente vendido à Linde Air Products Company. Inicialmente o SAW era utilizado para soldas longitudinais em tubos, e acabou sendo amplamente difundida em estaleiros e na indústria bélica. Ao longo da década inúmeros tipos de fluxo foram apresentados para utilização no processo. A Figura 6 mostra um dos primeiros registros fotográficos da utilização do processo SAW.

Figura 6 – Utilização do arco submerso na década de 1930.



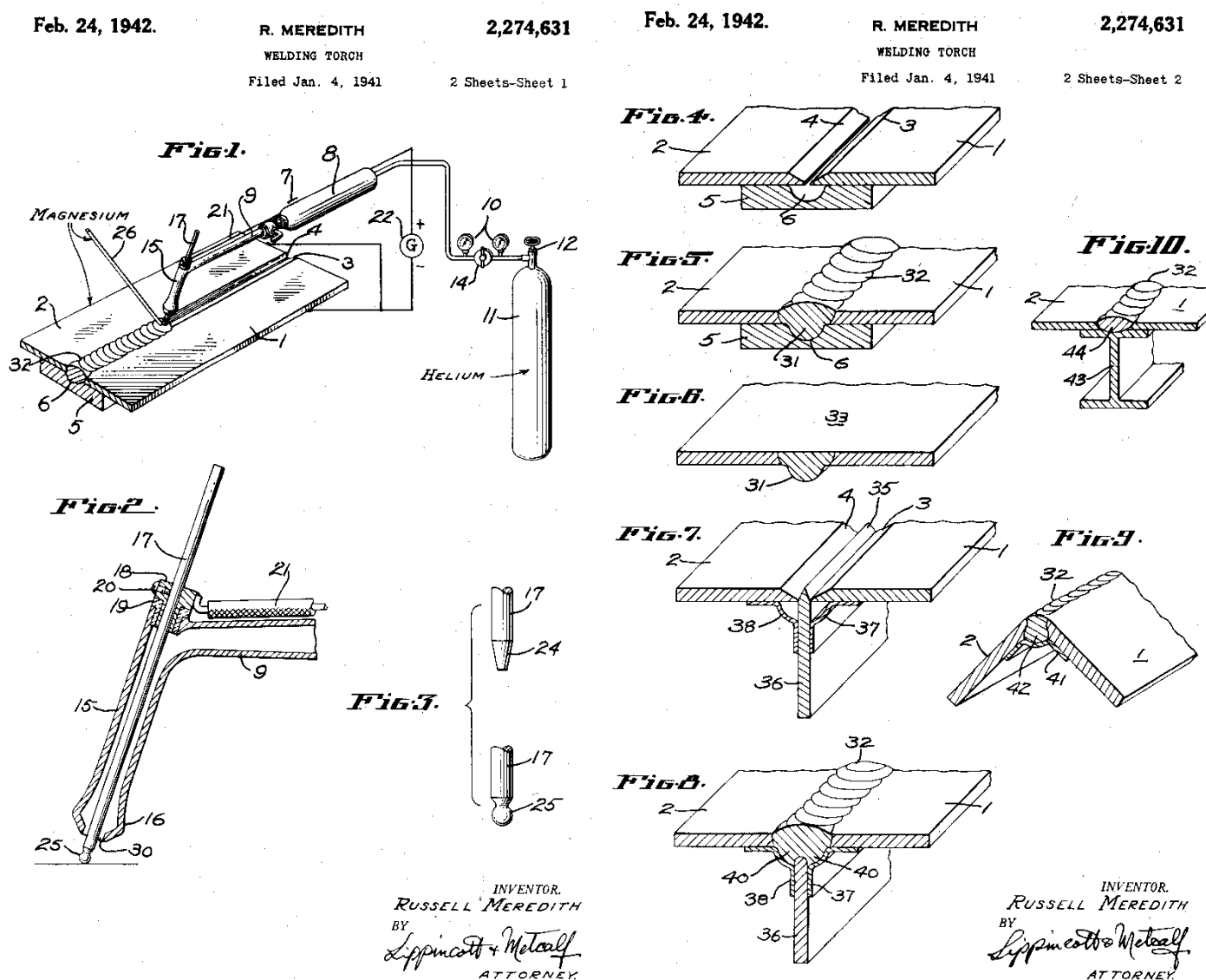
Fonte: (GOOGLE, 2020).

Ainda na mesma década, Edward Gowen Budd patenteou um processo de soldagem a ponto para aços inoxidáveis, alumínio também foi soldado por um processo semelhante, aplicado à indústria da aviação. Esta década também traria a utilização em massa dos processos de solda a ponto na fabricação das carrocerias automotivas. Em 1936 a soldagem utilizando ultrassom foi patenteada na Alemanha. Além disso foi nesse período que diversas sociedades ligadas a soldagem começaram a desenvolver normas e especificações a fim de garantir a qualidade e a segurança de trabalhos envolvendo a soldagem, como por exemplo a AWS e a *Japan Welding Society* (WELDINGHISTORY, 2020).

Ainda de acordo com Pires (2005) a partir dos anos 40 o processo TIG (GTAW – *Gas Tungsten Arc Welding*) teve início, a partir da ideia de C.L. Coffin para soldar em uma atmosfera de gás não oxidante, patenteada em 1890. H.M. Hobart usando hélio para blindagem e P.K. Devers usando argônio aprimoraram a ideia nos anos 20. O processo se mostrou ideal para soldagem de magnésio em aviões de combate durante a Segunda Guerra Mundial, além de extremamente eficiente na soldagem de aço inoxidável e alumínio. Em 1941 Russell Meredith aprimorou o processo e o chamou Heliarc®, contudo, posteriormente foi licenciado para a Linde Air Products, levando ao desenvolvimento da tocha refrigerada a água. Ainda relativo ao mesmo processo, em 1946 a alta frequência passou a ser aplicada em corrente alternada para a soldagem de alumínio. A Figura 7 mostra a patente obtida por R. Meredith em 1942.

O processo MIG (GMAW) como é conhecido atualmente foi desenvolvido pelo Battelle Memorial Institute em 1948, aprimorando as construções de seus predecessores nas décadas de 20 e 30, e aplicando os conceitos do recém desenvolvido processo GTAW, substituindo o eletro não consumível de tungstênio por um fino arame consumível do material a ser soldado, inicialmente para materiais não ferrosos, mas devido às altas taxas de deposição alcançada, logo foi aplicada à soldagem de aços. Nesse momento uma das principais desvantagens de ambos os processos (GTAW e GMAW) era o elevado custo dos gases inertes.

Figura 7 – Patente de R Meredith para o processo nomeado de Heliarc®.



Fonte: (Adaptado da patente US2274631A, 1942).

Segundo Pires (2005), a década de 1950 também trouxe inúmeros avanços para a soldagem. No campo da soldagem a arco, o CO₂ foi utilizado pela primeira vez em 1953, por

Lyubavskii e Novoshilov, utilizando os equipamentos até então usados para o processo GMAW com gases inertes, tornando o processo mais eficiente e menos dispendioso para a soldagem de aços ao carbono. Além disso o arame tubular foi desenvolvido dando origem ao FCAW (*Flux Cored Arc Welding*).

Além disso, outros importantes processo de soldagem tiveram início nesta década, como a soldagem por eletroescória (ESW – *Electroslag Welding*), desenvolvida na URSS; a soldagem por feixe de elétrons, desenvolvida na França em 1957 por J.A. Stohr, mesmo ano em que Robert F. Gage desenvolveu a soldagem a plasma (PAW – *Plasma Arc Welding*). A soldagem por fricção, inventada em 1956 na Rússia, foi copiada e modificada posteriormente pelos EUA e aperfeiçoada em 1991, na Inglaterra pela companhia TWI (*The Welding Institute*), dando origem ao processo hoje conhecido como *Friction Stir Welding*, mais utilizado em ligas de alumínio, mas que vem ganhando espaço entre outros materiais. Datam ainda desta época novas aplicações para a brasagem, como a utilização no reparo de câmaras de combustão de motores a jato, assim como manuais para caracterização da qualidade e eficácia do processo (WELDINGHISTORY, 2020).

A década de 1960 ainda foi produtiva para a soldagem, com o advento da soldagem por explosão, do processo chamado de eletrogás (que utiliza o mesmo equipamento da soldagem por eletroescória, mas com arame tubular e proteção por gás inerte) e a invenção do LASER, vindo a ser aplicado a partir de 1967 para corte de qualquer tipo de material e solda de metais. Outras inovações da soldagem também tiveram origem nessa época, como a soldagem por gravidade, desenvolvida no Japão, e a soldagem utilizando arco pulsado. Este último está diretamente ligado ao desenvolvimento eletrônico dos equipamentos de soldagem, que continua avançando até os dias atuais, permitindo maior controle dos processos, proporcionando equipamentos menores e mais eficientes, trazendo melhorias significativas na qualidade dos processos de soldagem.

As décadas seguintes trouxeram maiores avanços em normas e meios de controle das soldas, assim como a robotização dos processos de soldagem a partir do final da década de 1970 e o surgimento dos processos de soldagem híbrida a partir do século XXI, como MIG Brazing e o avanço dos processos de soldagem a LASER.

A Tabela 1 mostra um resumo da evolução dos processos de soldagem desde a descoberta do arco elétrico até o advento da robotização, na década de 1970.

Tabela 1 – Evolução histórica dos processos de soldagem.

1801	Sir Humphey Davis descobre o fenômeno do arco elétrico
1836	Edmund Davy descobre o Acetileno
1885	N. Bernardos e S. Olsewski depositam patente do processo de soldagem por arco elétrico
1889	N.G. Slavianoff e C. Coffin substituem o eletrodo de grafite por arame metálico
1901	Fouché e Picard desenvolvem o primeiro maçarico industrial para soldagem oxiacetilênica
1903	Goldschmidt descobre a solda aluminotérmica
1907	O. Kjellberg deposita a patente do primeiro eletrodo revestido
1919	C. J. Halsag introduz a corrente alternada nos processos de soldagem
1926	H.M. Hobart e P.K. Denver utilizam gás inerte como proteção do arco elétrico
1930	Primeiras normas para eletrodo revestido nos EUA
1935	Desenvolvimento dos processos de soldagem TIG e Arco Submerso
1948	H.F. Kennedy desenvolve o processo de soldagem MIG
1950	França e Alemanha desenvolvem o processo de soldagem por feixe de elétrons
1953	Surgimento do processo MAG
1957	Desenvolvimento do processo de soldagem com arame tubular e proteção gasosa
1958	Desenvolvimento do processo de soldagem por eletro-escória , na Rússia
1960	Desenvolvimento de processo de soldagem a laser, nos EUA
1970	Aplicados os primeiros robôs nos processos de soldagem

Fonte: (Adaptado de AVENTA, 2013)

3 HISTÓRIA DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

A raça humana desde sempre busca formas de tornar suas tarefas menos árduas, dentre elas a locomoção e o transporte de cargas. Para isso, diversas ferramentas e instrumentos vêm sendo desenvolvidos desde os primórdios da humanidade, até alcançar a realidade humana como a conhecemos hoje.

É provável que a invenção mais revolucionária dos seres humanos, a roda (que se acredita ter sido inventada há cerca de 6000 anos na Ásia), tenha sido a ferramenta precursora de toda a evolução em termos de transporte e locomoção que a humanidade vivenciou.

De acordo com Hallman (2020), um dos primeiros projetos reais de um veículo de autopropulsão foi feito por Leonardo Da Vinci em 1478, contudo uma réplica deste projeto, mostrada na Figura 8, só veio a ser construída em 2004, pelo Museu de História da Ciência em Florença, na Itália.

Figura 8 – Protótipo do veículo de autopropulsão de Da Vinci.



Fonte: (PARABRISAS, 2020).

Em 1769, Nicolas Joseph Cugnot construiu um veículo de três rodas, com autopropulsão de um motor a vapor, para o exército Francês, uma espécie de trator para transportar canhões, a uma velocidade de cerca de 4 km/h, tendo que ser reabastecido a cada 15 minutos. A Figura 9 mostra uma réplica deste veículo.

Figura 9 – Réplica do veículo militar de Nicolas-Joseph Cugnot.

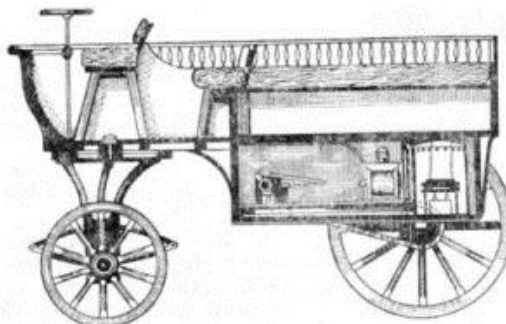


Fonte: (KOLEJNICTWO POLSKIE, 2020).

Novos projetos surgiram ao longo dos anos, inicialmente fortemente voltados para o transporte de cargas de modo geral, mas com o passar do tempo o foco passou a ser a locomoção humana. Para tanto, o desafio inicial foi o desenvolvimento de veículos com motores capazes de oferecer a propulsão necessária, partindo de motores a vapor, com baixa eficiência e autonomia (Oliver Evans – 1789 e Richard Trevithick – 1801) e chegando aos primeiros motores de combustão interna, como o do suíço François Isaac Rivaz (1807) – movido por uma mistura do hidrogênio e oxigênio – mas mal sucedido, seguido pelo inglês Samuel Brown (1823), com um motor com cilindros separados de combustão e trabalho (HALLMAN, 2020).

Apesar de todos os esforços, de acordo com Mihai e Flaviu (2012), o primeiro motor de combustão interna realmente bem sucedido e utilizado em um veículo comercial foi o do belga Jean Joseph Etienne Lenoir em 1863, mostrado na Figura 10. Em 1867 os alemães Nikolaus August Otto e Carl Eugen Langen apresentaram um motor de combustão interna como o conceito de pistão livre, e em 1876 Otto apresentou uma evolução do seu motor anterior, mais leve e mais eficiente, agora com quatro cilindros e quatro tempos, contudo sua patente não foi aceita na Alemanha, pois em 1862 o francês Alphonse Beau de Rochas já havia registrado uma patente descrevendo os mesmos princípios de funcionamento do motor de Otto

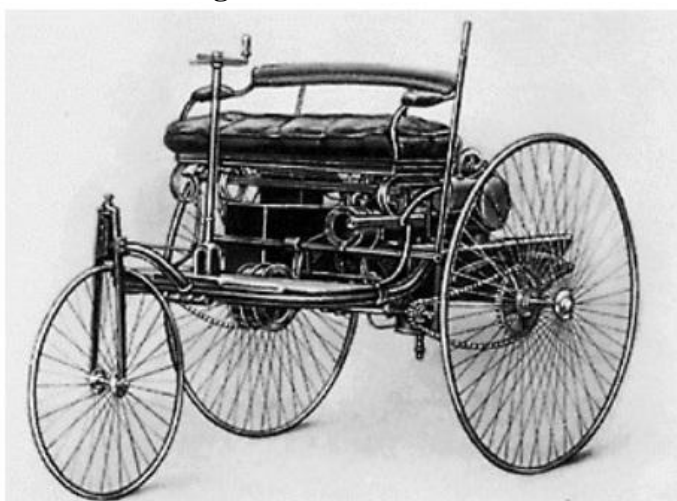
Figura 10 – Primeiro veículo comercial com o motor de combustão interna de Lenoir.



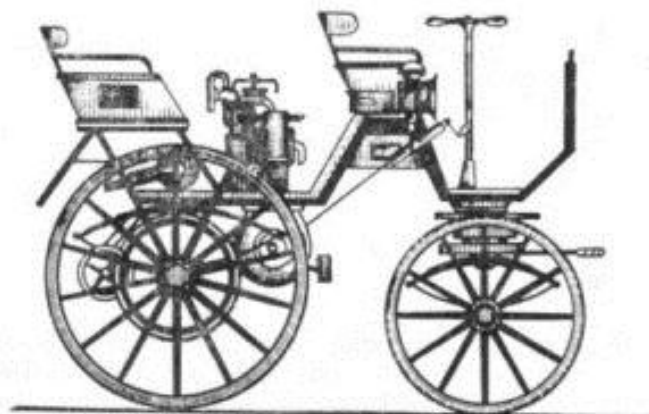
Fonte: (MIHAI; FLAVIU, 2012).

Após mais desenvolvimentos dos motores, combustíveis e dos sistemas de alimentação, na década de 1880 inicia-se realmente a produção automóveis, inicialmente na Alemanha com Karl Benz (1885) e Gottlieb Daimler (1886), assim como Henry Ford nos EUA (1886). A Figura 11 mostra os modelos alemães.

Figura 11 – Primeiros automóveis alemães de Karl Benz (a) e Gottlieb Daimler (b).



(a)



(b)

Fonte: (MIHAI; FLAVIU, 2012).

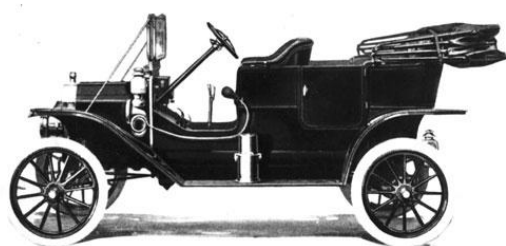
A produção destes automóveis era pequena. Para se ter ideia, entre 1888 e 1889 apenas 25 automóveis Benz foram vendidos. A produção em larga escala de automóveis a preços acessíveis teve início em 1902, com Ransom Olds na cidade de Lansing, em Michigan (EUA), utilizando as técnicas e conceitos de linha de montagem desenvolvida, por Marc Isambard Brunel (1802), e de componentes intercambiáveis, desenvolvido por Thomas Blanchard (1821). A partir de 1914 Henry Ford revolucionou a indústria automotiva, expandindo os conceitos adotados por Olds, e passando de uma produção de 7,5 carros por hora para uma produção de até 146 carros por hora, em seis diferentes versões do emblemático “Model T” (MIHAI; FLAVIU, 2012). As versões disponíveis do “Model T” à época são mostradas na Figura 12.

A partir da produção massiva dos automóveis, aspectos como a montagem e união dos diferentes componentes dos veículos passaram a ser fundamentais, afinal influenciavam em produtividade, qualidade e segurança. Este é o ponto em que a soldagem e a indústria automobilística começam a se conectar.

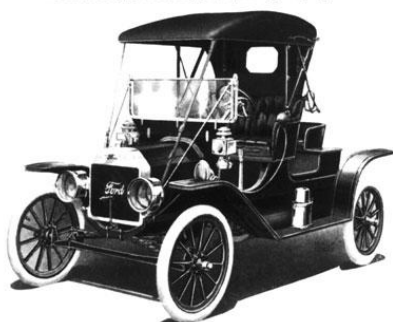
De acordo com Pires (2005) e com o *site* Weldinghistory, em 1912 Edward Gowen Budd, foi o primeiro a utilizar a soldagem na fabricação de automóveis, para a construção de chassis totalmente em aço. Contudo, ainda segundo Pires (2005), por se tratar de uma ciência ainda pouco dominada e cheia de incertezas, até meados da década de 1930 a soldagem era pouco aplicada à fabricação de automóveis, sendo até então utilizados para a fixação dos diversos componentes dos veículos basicamente rebites e parafusos, como mostra a Figura 13 da vista explodida do chassi do Model T.

Figura 12 – Versões do Ford Model T produzidas a partir de 1914.

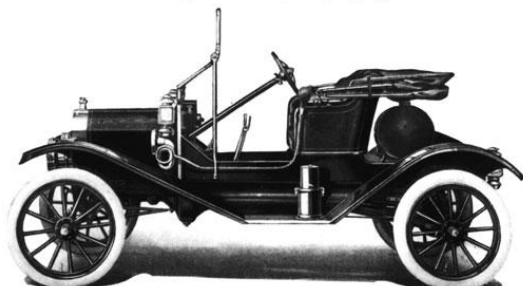
A Complete Line of Model T's to Choose From



5-Passenger Touring Car, Fully Equipped



3-Passenger Roadster, Fully Equipped

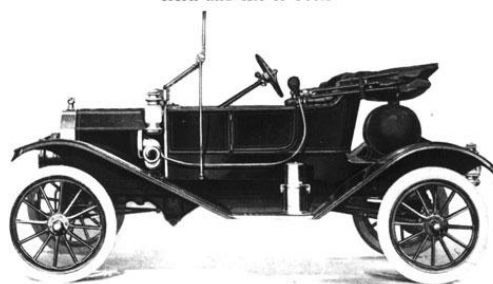


2-Passenger Open Runabout, Fully Equipped

Ford Car Models Supply Every Demand



2-Passenger Coupé, Equipped with 3 Oil Lamps, Tubular Horn and Kit of Tools



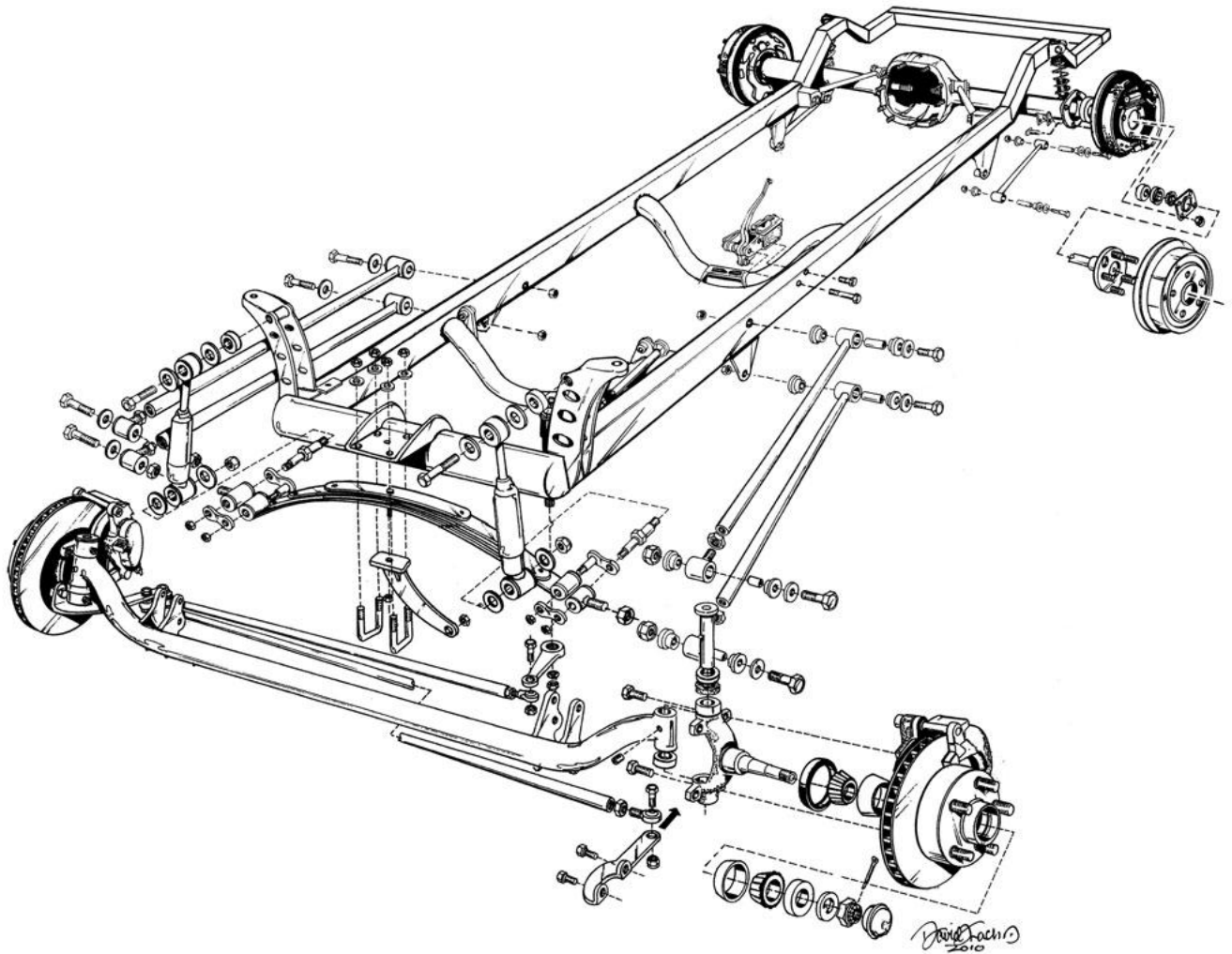
2-Passenger Torpedo Runabout, Fully Equipped



6-Passenger Town Car, Equipped with 3 Oil Lamps, Tubular Horn and Kit of Tools

Fonte: (MIHAI; FLAVIU, 2012).

Figura 13– Vista explodida do chassi do Ford Model T.



Fonte: (SPEEDWAY MOTORS, 2020).

A Figura 14, além do chassi, mostra os componentes da carroceria, do motor e da transmissão, todos desmontados. Nessa época elementos estruturais dos veículos ainda eram fabricados em materiais distintos do aço, como por exemplo a madeira.

Figura 14 – Ford Model T em vista explodida.



Fonte: (REDDIT, 2020).

Após a década de 1930, os automóveis passaram por grandes mudanças, desde a utilização de carrocerias completas montadas sobre chassi, evoluindo para a construção utilizando monoblocos, que já englobavam chassi e carroceria em uma única estrutura, até a utilização de novos materiais, passando por ligas de alumínio, aços de alta resistência micro ligados e chegando até a os dias atuais com a utilização de fibra de carbono e metais especiais como titânio.

4 OS PROCESSOS DE UNÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Os primeiros automóveis foram fabricados utilizando-se principalmente uniões mecânicas, especialmente os processos de fixação por parafusos, rebites e dobramentos. Com a evolução dos materiais utilizados na fabricação dos mesmos e aumento das exigências sobre a qualidade e segurança dos automóveis, os métodos de fixação utilizados também passaram por grandes evoluções.

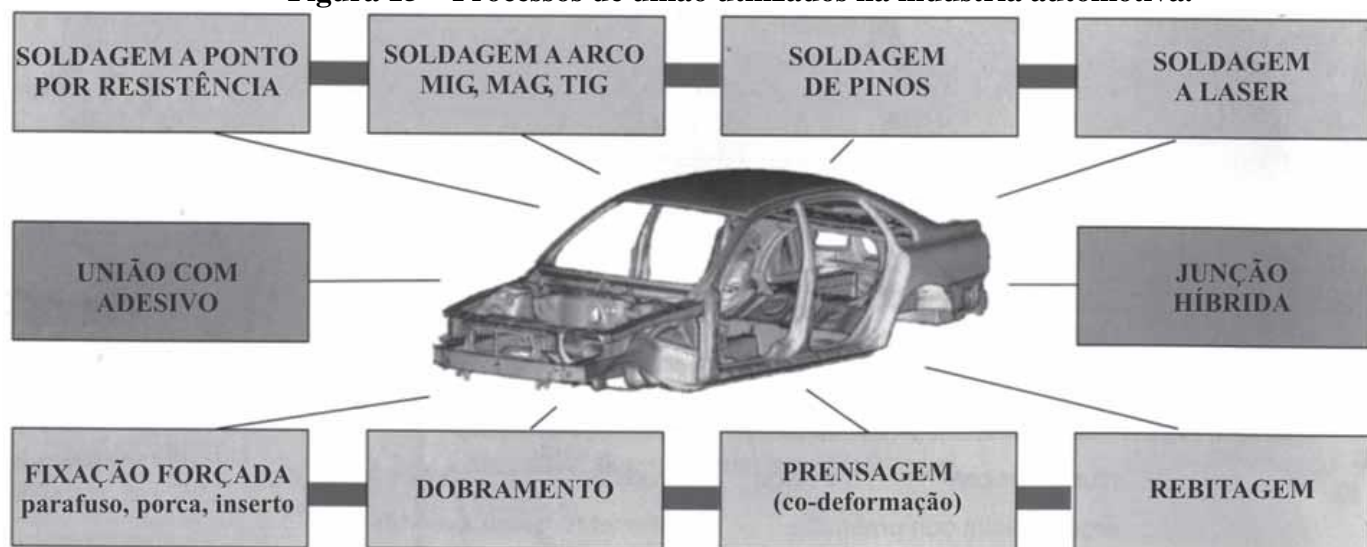
Os primeiros processos de soldagem conhecidos surgiram no século XIX, contudo a soldagem e a indústria automotiva só vieram a se encontrar em 1912, quando Edward Gowen Budd, utilizou pela primeira vez a soldagem na fabricação de carrocerias de automóveis para os irmãos Dodge.

Novos processos foram sendo agregados à fabricação de alguns componentes específicos, como carcaças de transmissão fabricadas utilizando o primeiro processo automatizado de soldagem, criado pela General Electric em 1920. Contudo, o uso da soldagem na indústria automotiva só se popularizou a partir de meados da década de 1920, quando mais processos de soldagem por resistência surgiram, com destaque especial para a evolução da soldagem a ponto, sobre o qual várias patentes foram concedidas nesta época, até mesmo para Edward G. Budd.

Visando melhorar os produtos e atender as normas e exigências atuais, a indústria automobilística tem introduzido materiais alternativos como plásticos, alumínio e outros materiais especiais como fibra de carbono e titânio, com a ideia de reduzir peso e custo no produto final.

Nesse contexto, a indústria da transformação e fabricação de aço também tem se renovado a fim de acompanhar as novas tecnologias, assim como os processos de soldagem atualmente utilizados na indústria automotiva, que seguem em constante evolução. A Figura 15 mostra os principais métodos de fixação utilizados na indústria automotiva nos dias atuais, e que serão o foco deste estudo.

Figura 15 – Processos de união utilizados na indústria automotiva.



Fonte: Adaptado de Larsson (2014).

Os principais processos de união utilizados atualmente na indústria automotiva, mostrados na Figura 15, serão abordados e melhor detalhados adiante.

5 JUNTAS E UNIÕES MECÂNICAS

Atualmente na indústria automobilística é crescente o uso de elementos de fixação mecânica para a carroceria como um todo a fim de reduzir peso e custos, demanda acentuada pelo desenvolvimento de novos materiais e a constante necessidade de unir peças como chapas, perfis e barras a materiais dissimilares, afinal qualquer construção, por mais simples que seja, exige a união de peças entre si.

Em uma classificação geral, os elementos de fixação mecânica mais usados na indústria automobilista são: pinos, parafusos e porcas, rebites, cavilhas e os processos de prensagem ou dobramento.

5.1 Pinos

Têm a finalidade de alinhar ou fixar os elementos de máquinas, permitindo uniões mecânicas, ou seja, uniões em que se juntam duas ou mais peças, estabelecendo, assim, conexão entre elas. Para cada função, temos diferentes tipos de pinos aplicados:

- Pino cônico: ação de centragem;
- Pino cônico com haste roscada: A ação de retirada do pino de furos cegos é facilitada por um simples aperto da porca;
- Pino Cilíndrico: Requer um furo de tolerâncias rigorosas e é utilizado quando são aplicadas as forças cortantes;
- Pino elástico ou pino tubular partido: Apresenta elevada resistência ao corte e pode ser assentado em furos, com variação de diâmetro considerável;
- Pino de guia: Serve para alinhar elementos de máquinas. A distância entre os pinos deve ser bem calculada para evitar o risco de ruptura;

Existe ainda um tipo de pino soldado por um processo denominado *Stud Welding*, que consiste em uma pistola que quando carregada e, ao tocar o local a receber o pino, ter o gatilho acionado, estabelece um arco entre a cabeça do pino e a parte metálica que irá receber o mesmo. O arco dura apenas alguns instantes, em seguida a pistola pressiona o pino contra a parte metálica que o receberá, completando assim o ciclo da soldagem

Este tipo de pino é geralmente roscado e é utilizado para fixação de acabamentos plásticos, metálicos, forros e protetores térmicos.

5.2 Porcas e Parafusos

A porca é uma peça de forma prismática ou cilíndrica geralmente metálica, com um furo roscado no qual se encaixa um parafuso, ou uma barra roscada. Em conjunto com um parafuso a porca é um acessório amplamente utilizado na união de peças.

As porcas podem ser utilizadas tanto como elemento de fixação como de transmissão.

Parafusos são elementos de fixação, empregados na união não permanente de conjuntos, isto é, as peças do conjunto podem ser desmontadas facilmente de acordo com a necessidade. Porém as junções por porcas e parafusos sujeitas a vibrações afrouxam, e requerem portanto, dispositivos de segurança para os seus travamentos, como por exemplo arruelas de pressão ou com travas, porcas auto-travantes, contraporcas, contrapinos, etc.

Os parafusos se diferenciam pelo perfil do filete, pelo sistema de padronização, pelo tipo da cabeça, da haste etc.

O corpo do parafuso pode ser cilíndrico ou cônico, totalmente ou parcialmente roscado. A cabeça pode apresentar vários formatos; porém há também parafusos sem cabeça. Existe uma enorme variedade de parafusos que podem ser diferenciados pelo formato da cabeça, do corpo e da ponta. Essas diferenças são determinadas pela função dos parafusos, e permite classificá-los em quatro grandes grupos:

- Parafusos passantes;
- Parafusos não-passantes;
- Parafusos de pressão;
- Parafusos prisioneiros.

5.2.1 Parafusos Passantes

Esses parafusos atravessam de lado a lado as peças a serem unidas, passando livremente nos furos. Dependendo do serviço, esses parafusos, além das porcas, utilizam arruelas e contra porcas como acessórios. Os parafusos passantes apresentam-se com cabeça ou sem cabeça.

5.2.2 Parafusos Não Passantes

São parafusos que não utilizam porcas. O papel de porca é desempenhado pelo furo roscado, feito em uma das peças a ser unida.

5.2.3 Parafusos de Pressão

Esses parafusos são fixados por meio de pressão. A pressão é exercida pelas pontas dos parafusos contra as peças a ser fixada. Os parafusos de pressão podem apresentar cabeça ou não.

5.2.4 Parafusos Prisioneiros

São parafusos sem cabeça com rosca em ambas as extremidades, sendo recomendados nas situações que exigem montagens e desmontagens frequentes. Em tais situações, o uso de outros tipos de parafusos acaba danificando a rosca dos furos. As roscas dos parafusos prisioneiros podem ter passos diferentes ou sentidos opostos, isto é, uma direita e a outra esquerda.

Para fixarmos o prisioneiro no furo da máquina, utilizamos uma ferramenta especial. Caso não haja esta ferramenta, improvisa-se um apoio com duas porcas travadas numa das extremidades do prisioneiro. Após a fixação do prisioneiro pela outra extremidade, retiram-se as porcas. A segunda peça é apertada mediante uma porca e arruela, aplicadas à extremidade livre do prisioneiro. O parafuso prisioneiro permanece no lugar quando as peças são desmontadas.

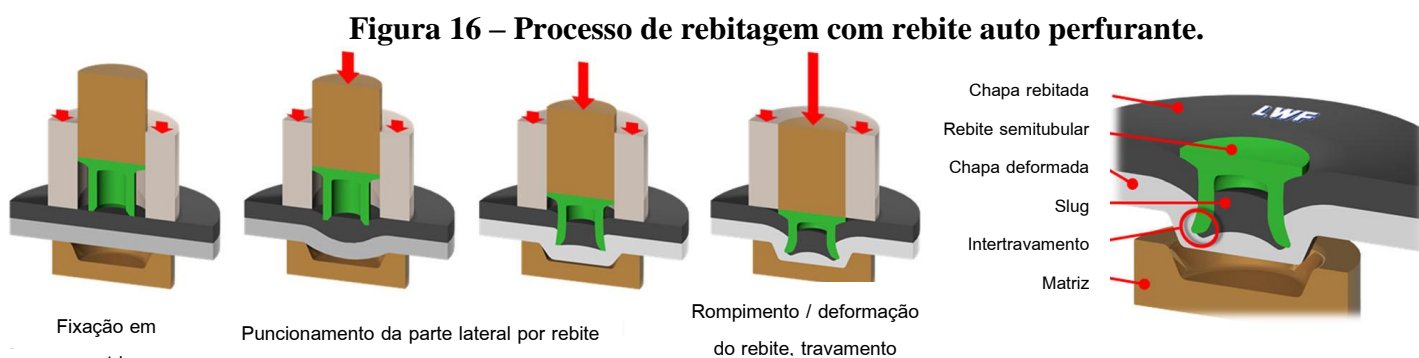
5.3 Rebitagem

No início da indústria automotiva, muitos materiais dissimilares eram utilizados na construção dos automóveis, entre eles diferentes metais e a madeira. Para fixação dos mesmos, os principais métodos utilizados eram as juntas mecânicas, ou seja, juntas rebitadas e aparafusadas.

Com o avanço da indústria siderúrgica e a utilização dos aços como principal material prima dos automóveis, a soldagem passou a ser predominante, deixando os processos de união mecânica por rebites em segundo plano, pelo menos até a década de 1980, quando teve início a fabricação de carros utilizando como principal matéria prima ligas de alumínio, (MESCHUT *et al*, 2014), material que apresenta redução dos limites de resistência e escoamento quando soldado.

Assim como no início da indústria automotiva, a evolução dos materiais e da tecnologia, trouxe novamente a necessidade de unir materiais dissimilares, como aços ao boro, ultra resistentes com o alumínio, buscando redução do peso total e aumento da resistência em automóveis mais novos (BARNES; PASHBY, 2000).

Vários tipos de rebites são aplicados na indústria automotiva, como rebite sólidos, tubulares, auto perforantes etc. Cada tipo é aplicado de acordo com os esforços a que serão submetidos, sendo mais comum na atualidade o uso dos rebites auto perforantes (MESCHUT *et al*, 2014). A Figura 16 mostra o processo de rebiteagem utilizando rebite tubular auto perforante.



Fonte: Adaptado de Meschut *et al*. (2014).

Os materiais dos rebites também podem variar, sendo os mais comuns em alumínio, aço, cobre e latão, podendo ser aplicados em diversos pontos da estrutura ou em componentes, como lonas de freio, discos de embreagem, como mostra Figura 17.

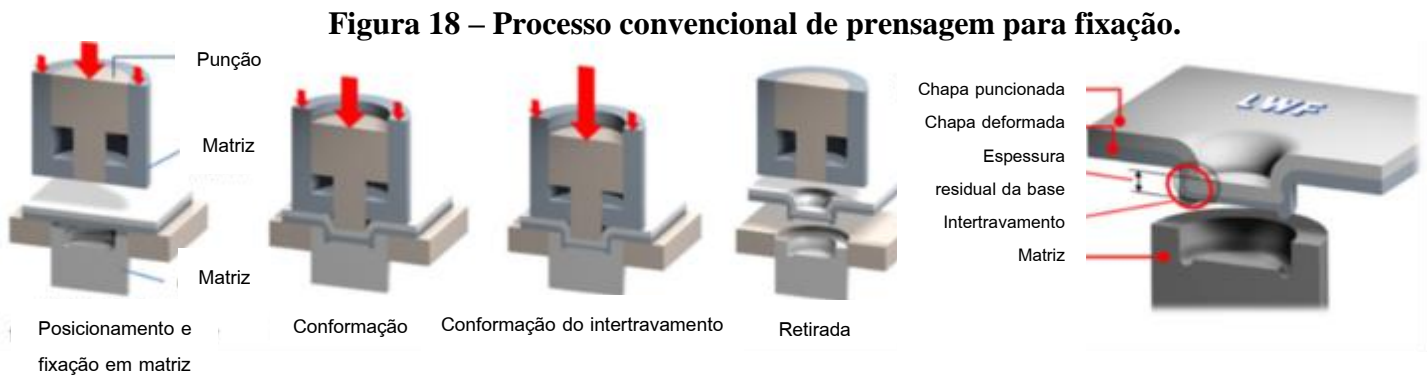
Figura 17 – Revestimento e fixação de disco de embreagem rebitados.



Fonte: (FRASLE, 2019).

5.4 Prensagem

Assim como a rebiteagem, a prensagem é um processo mecânico de união, que consiste em foçar mecanicamente uma chapa sobre a outra, utilizando algum tipo de ferramenta que permita a deformação plástica das peças a serem unidas, formando um tipo de cunha (MESCHUT *et al*, 2014). A Figura 18 mostra um processo convencional de prensagem.



Fonte: Adaptado de Meschut *et al.* (2014).

5.5 Dobramento

Dobramento é a operação na qual uma força controlada atuante em determinada localidade do material/peça provoca uma deformação permanente na mesma, deformação essa denominada dobra. Dobra é a parte do material plano que é flexionada sobre uma base de apoio.

O dobramento pode ocorrer manualmente, quando do uso de ferramentas como martelos, bigornas e gabaritos, ou em máquinas, onde prensas, atuadores hidráulicos ou pneumáticos realizam a operação. A escolha de utilização de um ou outro tipo de operação depende das necessidades de produção.

As operações de dobramento normalmente são feitas a frio; contudo podem ocorrer a quente, em casos especiais.

Apesar de ainda serem muito comuns na indústria automotiva, especialmente na junção de materiais dissimilares e na grafatura (processo de união por dobramento utilizados para posicionamento dos componentes da carroceria antes da fixação definitiva por soldagem ou outro processo qualquer), as junções mecânicas tem sido menos utilizadas, visto que os processos de soldagem têm se tornado cada vez mais eficientes e capazes de garantir a união, mesmo em materiais de difícil soldabilidade, como o alumínio. A Tabela 2, adaptada de Janota; Neumann (2008) mostra a utilização de diversos métodos de união utilizados em automóveis

modernos fabricados pela VOLKSWAGEN, onde percebe-se que as junções mecânicas já não têm tanto espaço.

Tabela 2 – Comparativo de utilização de métodos de união em automóveis atuais.

Método de União	Número/ Unidade	Polo A04	Touareg, Cayenne	Q7
Solda a Ponto.	pcs	3 200	2 832	3 607
MIG brazing	m	7.5	2.8	0.8
Solda MIG (Todas)	m	-	-	0.12 ^a
Solda MAG	m	0.7	10.1	8.97
Plasma brazing	m	-	-	2.8
Stud welding	pcs	134	184	161
Soldagem por projeção sólida.	pcs	83	112	20
LASER brazing	m	3.18	6.6	4.5
Solda LASER	m	3.4	9.6	1.8 ^b
Projeção em relevo.	pcs	44	-	-
Juntas prensadas (TOX)	pcs	121	203	124
União por adesivos	pcs + m	47	95.8	150 + 5
Juntas aparafusadas	pcs	68	74	94
Rebites	pcs	-	36	24

^a 4 pieces of Al grounding screws on the back doors.
^b Al back doors.

Fonte: Adaptado de Janota; Neumann. (2008).

6 SOLDA POR RESISTÊNCIA

A solda por resistência indica o campo da solda onde o calor de solda nas peças a serem soldadas é gerado pela resistência oferecida por essas à passagem de uma corrente elétrica. A solda por resistência difere dos processos de solda por fusão pela aplicação de força mecânica para garantir a união das peças aquecidas. O efeito dessa força é o refino dos grãos da estrutura, e uma solda com propriedades físicas iguais ou superiores aos metais que a deram origem (LARSSON, 2014).

6.1 Soldagem a Ponto

Falando um pouco sobre o processo, as peças sobrepostas a serem soldadas são pressionadas uma contra a outra por meio de eletrodos movimentados por forças: mecânica, pneumática, hidráulica ou uma mistura delas. Em seguida, um curto pulso de baixa tensão e alta corrente é fornecido e passa pelos eletrodos, não consumíveis, através do material base. A resistência deste material base à passagem da corrente ocasiona uma quantidade de calor nas superfícies de contato das peças proporcional ao tempo, resistência elétrica e intensidade de corrente a qual deverá ser suficiente para permitir que esta região atinja o ponto de fusão do material formando-se uma região fundida que recebe o nome de lente de solda (METALS HANDBOOK, 1983).

Quando o fluxo de corrente cessa, a força dos eletrodos ainda é mantida enquanto o metal de solda rapidamente resfria e solidifica. Os eletrodos são retraídos após cada ponto de solda. A área por onde passa a corrente de soldagem, a forma e o diâmetro das lentilhas de solda geradas são limitados pelo diâmetro e contorno da face do eletrodo (METALS HANDBOOK, 1983).

A resistência elétrica na interface entre as peças se situa geralmente no intervalo de 50 a 500 $\mu\Omega$ - mas pode ser tão baixa quanto 20 $\mu\Omega$ para o alumínio -, sendo necessária corrente com intensidade entre 5000 e 100.000 A para ocorrer fusão, o que também depende da condutividade térmica do metal envolvido, a qual é relativamente pequena para o aço e alta para o alumínio, por exemplo. As tensões empregadas variam de 1 a 20 V – muito raramente alcançam 30 V – com o tempo de aplicação da corrente variando entre menos de 0,01 s para folhas (chapas muito finas) até vários segundos para peças mais espessas (MACHADO, 1996).

A solda a ponto envolve a aplicação de corrente elétrica, pressão mecânica e tempos adequados, a corrente de solda deve passar dos eletrodos para as peças e sua continuidade de

ser assegurada pelas forças aplicadas aos eletrodos. A solda a ponto é um processo bem estabelecido que tem sido usado em altos volumes de produção por muitos anos.

A primeira utilização que se tem notícia da soldagem por resistência na indústria automotiva data de 1912. As Figuras 19 e 20 mostram a utilização da soldagem a ponto manual na indústria automotiva nas décadas de 1950 e 1960, quando o processo já era amplamente difundido no ramo automotivo.

Figura 19 – Soldagem manual a ponto nos anos 50 na indústria automotiva.



Fonte: (ARO, 2020).

Figura 20 – Soldagem manual a ponto nos anos 60 na indústria automotiva.



Fonte: (ARO, 2020).

Este Processo é mais usado na união de peças com espessura de até 3mm, em juntas sobrepostas quando a estanqueidade da junta não é muito importante. Este processo encontra larga aplicação, por exemplo, na fabricação de carrocerias de veículos, alguns exemplos que podemos citar são desde o assoalho dianteiro e assoalho traseiro, partes moveis (também conhecidos como as portas da carroceria) e em alguns casos o teto do carro também usa esse processo de solda. A Figura 21 mostra dois dos principais tipos de pinças de solda a ponto utilizadas na indústria automotiva, e a Figura 22 mostra o esquema de funcionamento de uma pinça de solda a ponto por resistência.

Figura 21 – Pinças de solda a ponto dos tipos Corsoio e Fulcro.

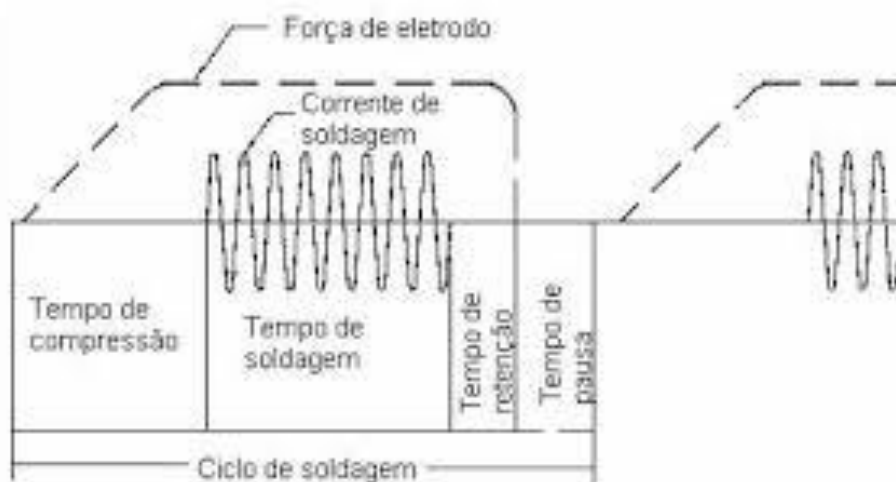
Pinça Corsoio



Pinça Fulcro

Fonte: (Notas de aula, 2018).

Figura 22 – Ciclo de soldagem a ponto por resistência.



Fonte: (Notas de aula, 2018)

6.1.1 Vantagens e Limitações

As principais vantagens da soldagem a ponto por resistência pode-se citar: Maior resistência a vibrações mecânicas; dispensa necessidade de acabamento final na união soldada, pois o processo não produz escória, nem respingo (se parametrizada e executada corretamente); alta velocidade, alta adaptabilidade para automatização em produção; necessita menor habilidade para execução.

Apesar de extremamente difundido e eficiente, o processo também apresenta algumas limitações tais como: Desmontagem das peças soldadas para manutenção ou reparo é muito difícil; custos de equipamento geralmente mais elevados do que a maioria dos equipamentos de soldagem a arco; soldas a ponto têm baixos limites de resistência à tração e à fadiga por causa do entalhe entre as chapas, além de alguns problemas operacionais, relacionados a seguir.

6.1.1.1 Materiais e espessuras de chapas

Seguindo uma tendência mundial no que diz respeito a diminuir o peso dos carros, proporcionando maior autonomia e incremento na segurança, materiais diferentes vêm sendo utilizados nos processos de fabricação da indústria automobilista. Tais materiais apresentam maiores complicações referentes à soldagem, aliado a isso, a indústria tem buscado e alcançado maior otimização nos processos de soldagem em função de suas diferentes propriedades térmicas, elétricas, temperaturas de fusão, faixas plásticas e pelas ligas que podem se formar no ponto de solda. Contudo, a fim de se determinar a qualidade da solda, faz-se necessário um plano de inspeção de soldagem (RWMA, 1989).

Segundo Gedeon (1984), quando as espessuras das combinações das chapas é muito pequena, ocorre a diminuição da vida útil dos eletrodos, pois após as soldagens de chapas galvanizadas ocorre a formação de latão na ponta do eletrodo (combinação do zinco do revestimento da chapa galvanizada com o cobre do eletrodo), levando à necessidade de elevação da corrente de soldagem a fim de garantir a qualidade final do ponto de solda.

A fim de minimizar os efeitos dessa formação de latão na ponta dos eletrodos, é importante o uso de conjuntos de fresadoras e laminas de fresagens, conforme Figura 23, que faz parte desse processo de solda, removendo a camada de latão dos eletrodos e devolvendo-lhes a condutividade elétrica original.

Figura 23 – Conjunto de Fresadora Completo.



Fonte: Próprios autores.

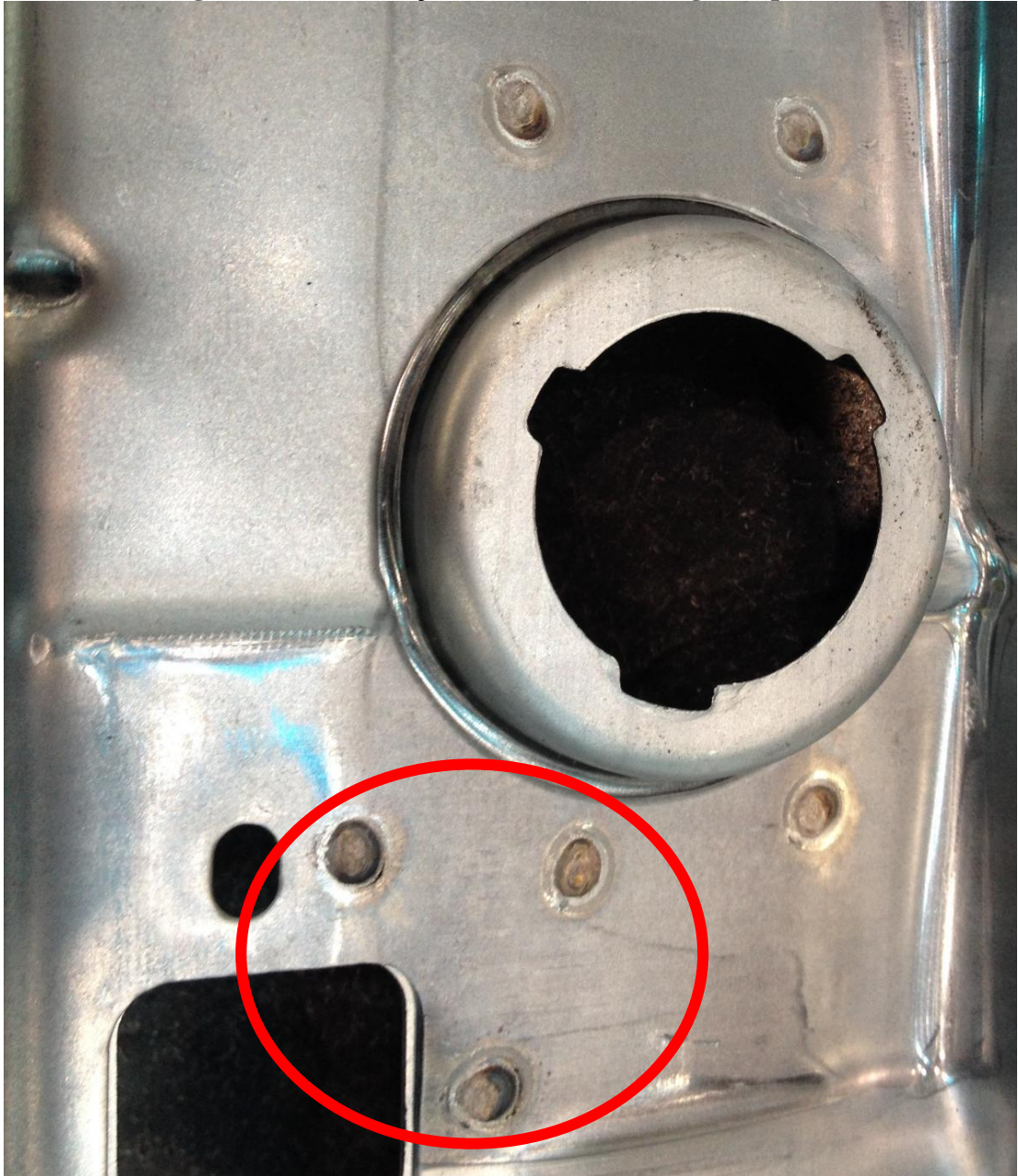
6.1.1.2 Efeito Shunt

Em situações reais de soldagem à resistência (soldagem a ponto), por se tratar de um processo de fácil automação e alta produtividade, à medida que é efetuada a soldagem, existe a tendência de ligeira queda na qualidade dos pontos de solda subsequentes. Isso ocorre em função de um desvio do fluxo de corrente de um ponto de solda para o outro mais próximo e com menor resistência elétrica, esse efeito é o conhecido efeito shunt (Chang, et. Al., 1990).

6.1.1.3 Indentação

Wu (1968) diz que a indentação varia com o material a soldar e com a dureza da solda. De fato o material é um grande componente desse efeito na soldagem a ponto por resistência. A indentação aceita no processo de soldagem varia de montadora para montadora, de acordo com o nicho de mercado almejado, seguindo muitas vezes normas próprias de qualidade. Na prática essa inspeção é feita de forma visual, porém em alguns casos existem aparelhos que medem essa indentação. A Figura 24 mostra um exemplo de indentação excessiva.

Figura 24 – Indentação excessiva na soldagem a ponto.



Fonte: Próprios Autores

6.1.1.4 Desalinhamento do Eletrodo

Segundo (Tang *et al.*, 2003), um pequeno desalinhamento é geralmente ignorado na prática, mas ocasiona uma redução na área de contato, o que afeta na densidade de corrente além de causar uma errada distribuição de pressão à deflexão induzida. Em termos práticos, pequenos desalinhamentos não representam risco à qualidade geral do processo, o que no entanto não dispensa correções geralmente feitas em manutenções preventivas e/ou corretivas.

6.2 Soldagem por Projeção

A operação da solda por projeção envolve a aplicação coordenada de corrente elétrica e pressão mecânica de magnitude e duração apropriadas. A corrente de solda deve passar dos eletrodos para a junta. Sua continuidade é garantida pela força aplicada pelos eletrodos, ou por projeções que são feitas para produzir a densidade de corrente e pressão necessárias (JOU, 2003). A sequência de operação deve primeiramente gerar calor suficiente para fundir um volume confinado de metal. Esse metal é então resfriado ainda sob pressão até que ele tenha resistência suficiente para segurar a união entre as peças. A densidade de corrente e a pressão devem ser suficientes para que a marca seja formada, mas não excessiva a ponto de expulsar o metal fundido da zona de soldagem (CHANG *et al.*, 2003). A duração da corrente de soldagem deve ser suficientemente curta para evitar a geração de calor excessivo nos eletrodos, reduzindo a sua vida útil (ROWLANDS *et al.*, 2003).

A soldagem por projeção é muito utilizada quando as espessuras dos materiais são muito diferentes, conforme Figura 25, quando uma das partes possui uma forma específica, ou pela posição precisa de uma peça em relação a outra, conforme Figura 26.

Para que ocorra a união efetiva das partes, as superfícies de contato estão definidas em uma das peças através de uma saliência no material, determinando uma quantidade de massa que será fundida no outro material (FURLANETTO, 2018).

Figura 25 – Peça galvanizada com porcas soldadas por projeção.



Fonte: Próprios autores.

Figura 26 – Posicionamento preciso de componentes para soldagem por projeção.



Fonte: Próprios autores.

Os equipamentos utilizados para solda por projeção, como mostra a Figura 27, são muito semelhantes àqueles usados na soldagem por pontos, porém a força aplicada pelo cilindro pneumático aos eletrodos deve ser uma faixa de trabalho superior e a estrutura do equipamento deve ser mais reforçada para suportar os esforços sofridos.

A característica mais marcante que difere a máquina de soldagem por projeção da de solda ponto está na velocidade com que o cilindro deve imprimir aos eletrodos, para que eles acompanhem o deslocamento da saliência a ser fundida. Se o cilindro não for suficientemente rápido em seu deslocamento, haverá uma diminuição da força de contato entre os eletrodos, tendo como consequências o derretimento da superfície do produto até a expulsão e na área de fusão não haverá recalque suficiente para a mistura dos materiais, ocorrendo expulsão também de material, gerando falhas, ou, no caso de baixa energia aplicada, a falha de caldeamento (FURLANETTO, 2018).

Figura 27 – Célula com equipamento de sodagem por projeção.



Fonte: Próprios Autores

O dispositivo deve acomodar as peças proporcionando uma distribuição uniforme das forças entre as saliências, para que não ocorra a falha ou expulsão de material em diferentes projeções. Esta condição é muito difícil de ser alcançada sem que haja um equalizador de força no dispositivo. Este equipamento é geralmente uma câmara hidráulica que pelo princípio de vasos comunicantes permite a movimentação dos eletrodos até a acomodação do produto com forças equilibradas nas saliências. Os eletrodos devem ter uma área de contato com a região de fusão de pelo menos duas vezes a área ocupada pela saliência. O eletrodo não deve ter uma área muito grande, evitando assim a possibilidade de circulação de corrente em áreas não desejadas da peça, devendo estar centralizado na projeção e não se encostar a bordas ou paredes da outra parte (FURLANETTO, 2018).

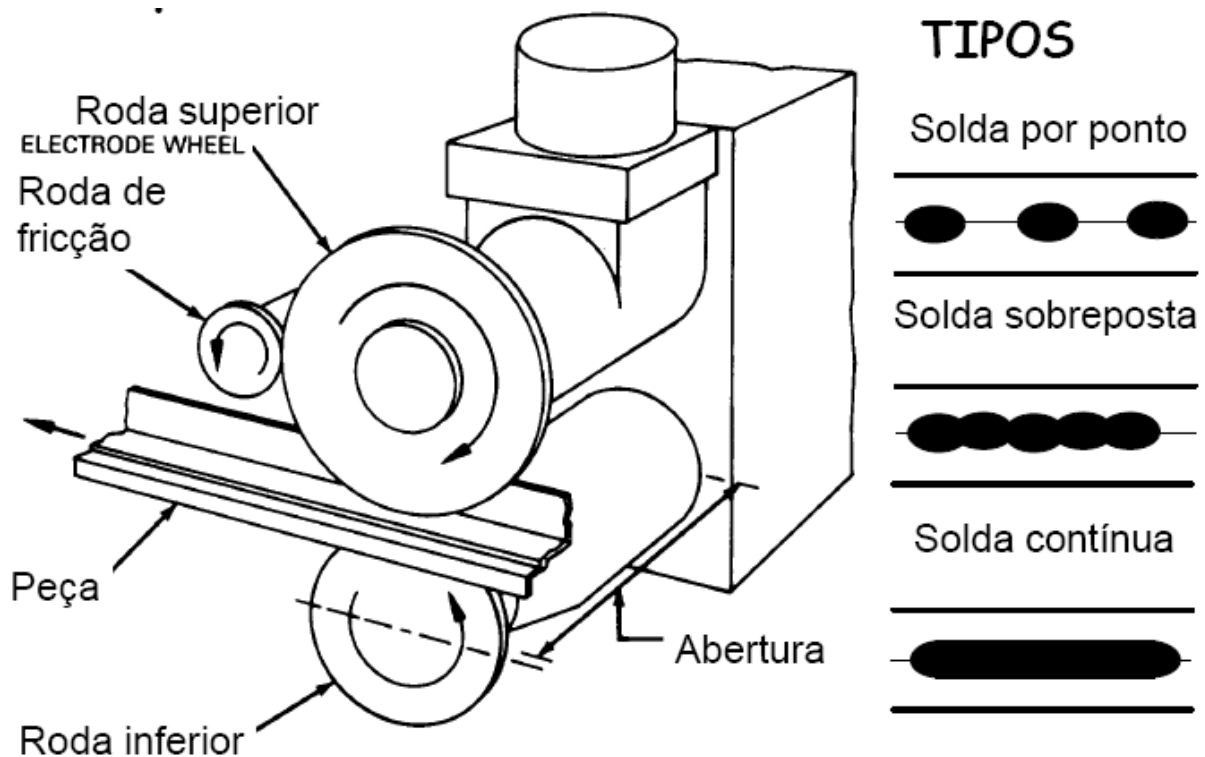
6.3 Soldagem por Costura

É o processo no qual o calor gerado pela resistência do fluxo de corrente elétrica no metal se combina com a pressão, produzindo a solda por costura. A costura consiste numa série de pontos de solda, e o processo de solda por costura pode ser classificado pelos seguintes métodos:

- *Roll Spot Welding*: Grandes vazios entre os pontos de solda;
- *Reinforced Roll Spot Welding*: Pequenos vazios entre os pontos de solda;
- *Leak-Tight Seam Welding*: Pontos sobrepostos.

Dois eletrodos circulares girando são usados para fornecer corrente, força e refrigeração para executar a solda, como mostra a Figura 28. Contudo, várias combinações de eletrodos para a soldagem por costura são possíveis, como por exemplo: um plano e outro circular ou dois circulares.

Figura 28 – Equipamento esquemático de soldagem por costura e os tipos possíveis.



Fonte: (Notas de aula, 2018).

As principais aplicações para o processo de soldagem por costura na indústria automotiva são tanques de gasolina e catalisadores, principalmente em função da estanqueidade garantida pelo processo (BRACARENSE, 2010). A Figura 29 mostra um tanque de combustível soldado por costura.

Figura 29 – Tanque de combustível soldado por costura.



Fonte: (TECNOWELDING, 2020).

7 SOLDAGEM A ARCO

Um dos primeiros processos de soldagem desenvolvido, a soldagem arco revolucionou a indústria de modo geral, garantindo uniões mais rápidas e mais resistentes entre metais, especialmente o aço, contudo seu uso na indústria automotiva se deu de forma mais tardia.

Apesar das primeiras patentes registradas na década de 1880, a soldagem a arco envolve transformações metalúrgicas e em estado sólido complexas, que podem alterar as propriedades dos materiais envolvidos, alterando significativamente o comportamento dos mesmos em serviço.

Associado a isso, a produção de aços, uma das principais matérias prima da indústria automotiva desde sempre, no início do século XX ainda era muito deficiente, especialmente com relação a qualidade e controle de processos, assim como dos próprios métodos de soldagem, que ao se unirem para fabricação de conjuntos dinâmicos, como no caso de meios de transporte, causou graves acidentes. Alguns dos casos mais célebres são o navio Titanic, em 1912, matando centenas de pessoas, e os navios USS Liberty Ships, na década de 40, que falharam antes mesmo de entrar em operação (MARQUES *et al* 2013).

A indústria automotiva exigia mais das juntas, visto que os esforços dinâmicos eram mais severos, e as juntas soldadas ainda não apresentavam grande confiabilidade, por isso, por cerca de 50 anos, desde o início da fabricação de automóveis, as junções mecânicas predominaram na indústria automotiva.

Com a melhoria e evolução dos processos de soldagem e produção de aços, a soldagem a arco passou a ser utilizada de forma mais frequente, até se tornar um dos principais métodos de união utilizados na indústria automotiva. A Figura 30 mostra um arco elétrico aberto durante um processo de soldagem TIG (GTAW).

Figura 30 – Arco elétrico no processo GTAW.



Fonte: (INFOSOLDA, 2019).

7.1 Soldagem por Eletrodo Revestido (SMAW)

Os processos de soldagem a arco obedecem sempre ao mesmo princípio: abertura e controle de um arco elétrico entre um material condutor (eletrodo) e a peça a ser soldada.

O eletrodo pode ou não ser consumível. No caso da soldagem com eletrodo revestido, o mesmo é consumível, sendo composto por uma alma metálica, coberto com um revestimento responsável por gerar gases para proteção da poça de fusão e ionização do ar, modificação das propriedades químicas do metal de adição, e ao fim da soldagem, proteção do metal aquecido contra contaminação, através da escória formada sobre o cordão de solda (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE. 2013). A Figura 31 mostra um eletrodo revestido em uso.

Figura 31 – Soldagem a arco com eletrodo revestido.



Fonte: (ESAB, 2001).

Inicialmente a indústria automotiva utilizava eletrodos revestidos para soldagem de chapas e peças de maior espessura, como chassis e demais elementos estruturais, além de ser frequentemente utilizado em manutenções e reparos na própria indústria.

Contudo, eletrodos revestidos apresentam algumas desvantagens, sendo uma das principais a limitação de comprimento, o que o torna menos produtivo se comparado a outros processos. Outra grande desvantagem é a formação de escória no processo, que demanda tempo para retirada e tende a tornar o processo menos limpo e mais sujeito a contaminações e inclusões. Ainda assim, algumas indústrias continuaram utilizando o eletrodo revestido até o início do século XXI, além do seu uso para manutenção, que persiste até os dias atuais.

7.2 Soldagem TIG (GTAW)

O processo de soldagem a arco GTAW, mais conhecido como TIG, também segue o princípio da abertura e controle de um arco elétrico entre um eletrodo condutor de energia e a peça a ser soldada. O grande diferencial deste processo é o controle independente da fonte de energia e do metal de adição.

O processo consiste na passagem da corrente por um eletrodo metálico não consumível de tungstênio (W), um metal refratário com ponto de fusão superior a 3400° C. Este eletrodo é o responsável por sustentar o arco elétrico (fonte de calor), que pode controlado quanto à intensidade e direção, além de poder ter suas configurações alteradas para trabalhar com corrente alternada, para soldagem de materiais mais específicos, como o alumínio. A Figura 30 mostra o arco elétrico aberto no processo GTAW, onde é possível ver o eletrodo de tungstênio incandescente e a forma de sino do arco elétrico.

Apesar de seu desenvolvimento em 1935, o uso do processo GTAW na indústria automotiva pode ser considerado um tanto quanto restrito, sendo mais comum para soldagens de alta responsabilidade e em materiais de maior dificuldade para soldagem, como alumínio e titânio e aço inoxidável. Isso se deve à baixa produtividade do processo.

Apesar de fornece ótimos acabamento e qualidade, o processo GTAW, quando manual, depende fortemente da habilidade do soldador, e ainda assim não apresenta grade produtividade, sendo mais comum seu uso para soldas de reparação, especialmente em componentes de alumínio e suas ligas, como apresenta a Figura 32, na recuperação de um cabeçote. O processo pode ser robotizado, mas ainda não é usual esta configuração na indústria automotiva, visto que outros processos são mais eficientes quanto à deposição de metal.

A Figura 33 mostra um escapamento em aço inoxidável soldado e anodizado pelo processo GTAW.

Figura 32 – Cabeçote em alumínio recuperado com o processo GTAW.



Fonte: (EXACTA, 2011).

Figura 33 – Escapamento em aço inoxidável soldado e anodizado pelo processo GTAW;



Fonte: (KILLFAB, 2017).

7.3 Soldagem MIG/MAG (GMAW)

Com o advento do processo MIG/MAG na década de 1950, os problemas de produtividade e limpeza estavam resolvidos de uma só vez. Isso o torna amplamente difundido na indústria automotiva, sendo aplicado a qualquer tipo de união que necessite adição de material, especialmente em chapas e componentes de maior espessura, superando os demais processos de soldagem a arco (SMAW e GTAW). O processo segue o mesmo princípio aplicado ao SMAW, contudo a proteção é gasosa (inerte ou ativa), não forma escória e a alimentação é contínua, tornando-o mais limpo e eficiente.

Além disso é comum a robotização do processo GMAW, visto que uma vez parametrizado, o processo não apresenta variação significativa que altere a qualidade da solda. Além disso, os consumíveis e equipamentos já apresentam excelente confiabilidade, permitindo operações próximas de zero defeitos.

A Figura 34 mostra operações de soldagem utilizando o processo GMAW manual (a) e robotizado (b).

Figura 34 – (a) Processo GMAW manual; (b) processo GMAW robotizado.



(a) (b)
Fontes: (a) (BINZEL-ABICOR, 2019), (b) (FRONIUS, 2019).

Geralmente o processo GMAW é aplicado a juntas de maior espessura ou que exijam maior volume de material depositado, contudo a grande evolução pela qual as fontes de energia para soldagem têm passado, este não é mais um limite significativo, sendo o processo GMAW aplicado atualmente a espessuras da ordem de 0,4 mm ou mesmo menores.

As principais evoluções do processo dizem respeito ao controle da energia aplicada à soldagem através de curtos-circuitos controlados, corrente pulsada, rampas de subida e descida de corrente em tempos variados além de fontes sinérgicas, capazes de identificar inconsistências durante a soldagem e variar parâmetros a fim de se adaptar ao processo, minimizando erros e defeitos.

8 BRASAGEM E SOLDABRASAGEM

A brasagem é um processo de união que se assemelha à solda, no entanto não fornece continuidade metalúrgica à junta, se baseando a fixação em ancoragem mecânica e capilaridade.

O processo se dá através da união de uma junta metálica utilizando um metal de adição com ponto de fusão mais baixo que o dos metais de base da junta, para tanto é necessário que haja algum espaço, mínimo que seja, por onde o metal de adição líquido possa penetrar.

Os metais de adição utilizados devem ter baixo ponto de fusão (em relação ao metal de base) boa fluidez no estado líquido e resistência mecânica adequada à aos esforços a que será submetida a junta, assim como composição química e metalúrgica compatível com o material da junta a ser brasada, a fim de se evitar formação de pilha galvânica e consequente corrosão.

O processo é amplamente difundido na indústria automotiva, tendo sido um dos primeiros a ser utilizado na fabricação de veículos, sendo utilizado desde acabamentos e fechamentos nas carrocerias dos veículos produzidos até em sistemas de lubrificação, arrefecimento e de refrigeração, onde aliás são o principais métodos de união, devido à capacidade de estanqueidade característico do processo. A Figura 35 mostra a utilização da brasagem manual a fogo na indústria automobilística na década de 1960.

Figura 35 –Brasagem manual por chama na indústria automotiva na década de 60.

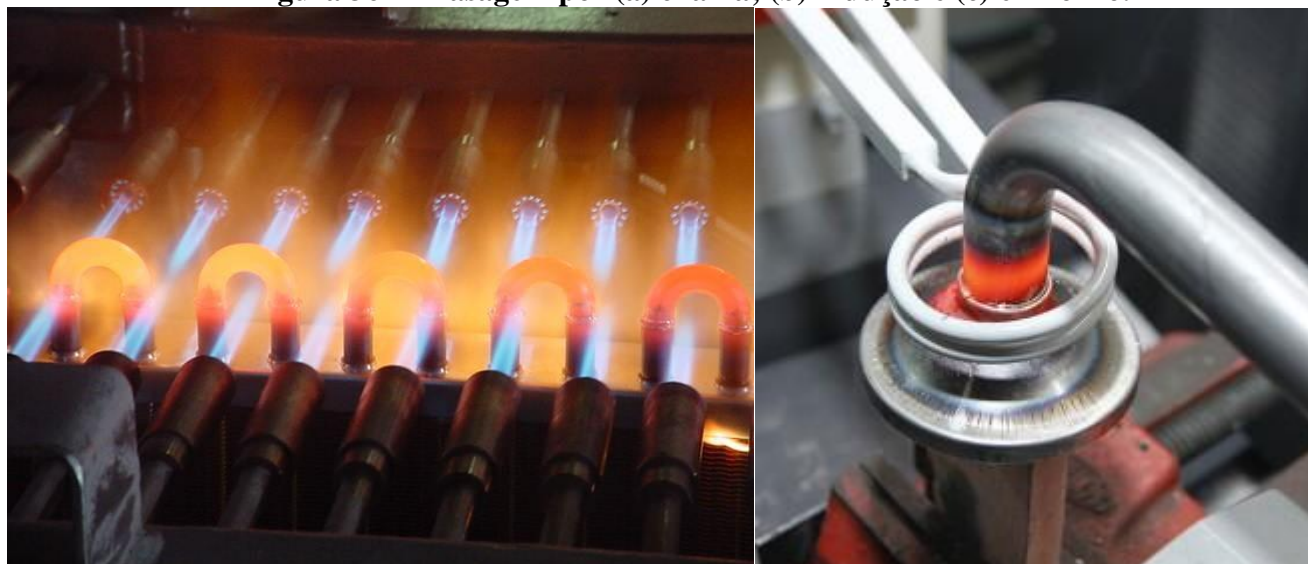


Fonte: (FRAMEPOOL, 2020)

Como o processo de brasagem depende de temperaturas relativamente baixas, pode-se utilizar para isso fornos, bobinas de indução, chama, resistência entre outros. O processo pode

ser seriado, por lotes ou mesmo individual. Geralmente em produção seriada, os processos são automatizados, contudo, dependendo da complexidade do conjunto a ser brasado, a operação pode ocorrer de forma manual. A Figura 36 mostra processos de brasagem por chama (a), indução (b) e em forno (c).

Figura 36 – Brasagem por (a) chama; (b) indução e (c) em forno.



(a)

(b)



(c)

Fontes: (a) (LÓGICA DA AMAZÔNIA, 2019); (b) (JAMO, 2019); (c) (COMBUSTOL, 2019).

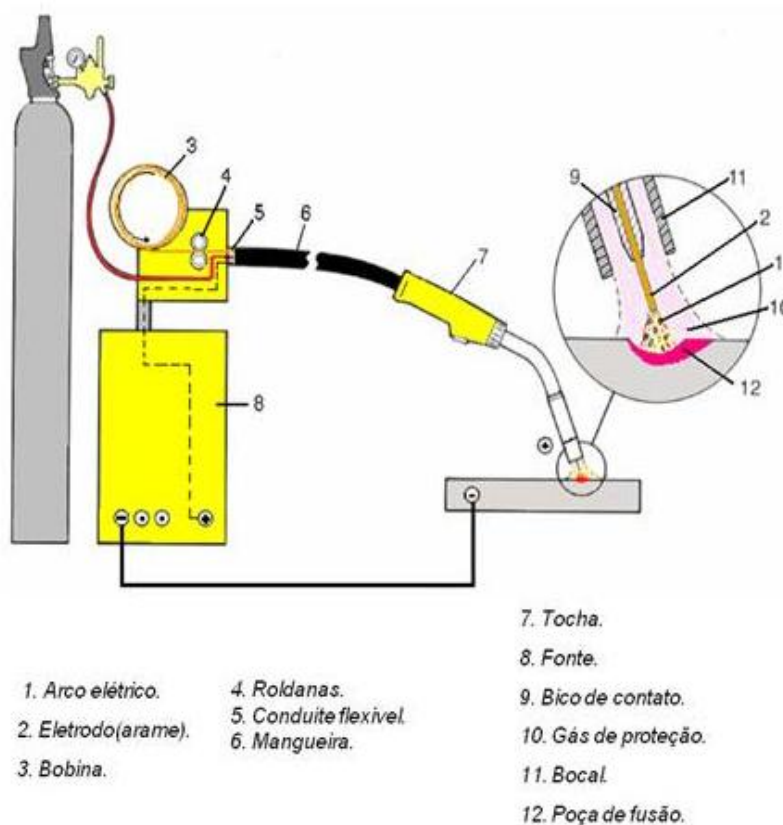
Os metais de adição mais utilizados para brasagem de são modo geral ligas cobre, prata, estanho, níquel e alumínio, sendo cada uma mais apropriada para cada tipo de aplicação. Podem se apresentar em forma de varetas, geralmente para operações manuais, ou na forma do conjunto a ser aplicado como mostra a Figura 36 (c), em produção seriada.

8.1 Soldabrasagem

O processo de soldabrasagem mais conhecido é chamado MIG Brazing, que pode ser considerado uma junção do processo GMAW com o metal de adição utilizado na brasagem. O processo segue o mesmo princípio do processo GMAW, mas apresenta vantagens muito competitivas para a indústria automotiva. Além disso há também o chamado TIG Brazing, que assim como o anterior, utiliza-se das vantagens dos processos de soldagem a arco, aplicando como metal de adição ligas com ponto de fusão mais baixo que o dos metais de base.

Assim como a brasagem convencional, as juntas soldabrasadas apresentam resistência mecânica próxima da encontrada nos metais de base, contudo, como o aporte térmico é consideravelmente menor do que em soldas GMAW convencionais, visto que os metais de adição apresentam ponto de fusão inferior ao dos metais de base, as distorções relacionadas à variações térmicas das juntas são significativamente menores, ainda sim, em função da alta energia do arco elétrico, não é raro que pequenas porções do metal de base também se funda no processo. Além disso, a alimentação é contínua, permitindo o aumento significativo da produtividade. A Figura 37 mostra esquematicamente o equipamento utilizado no processo.

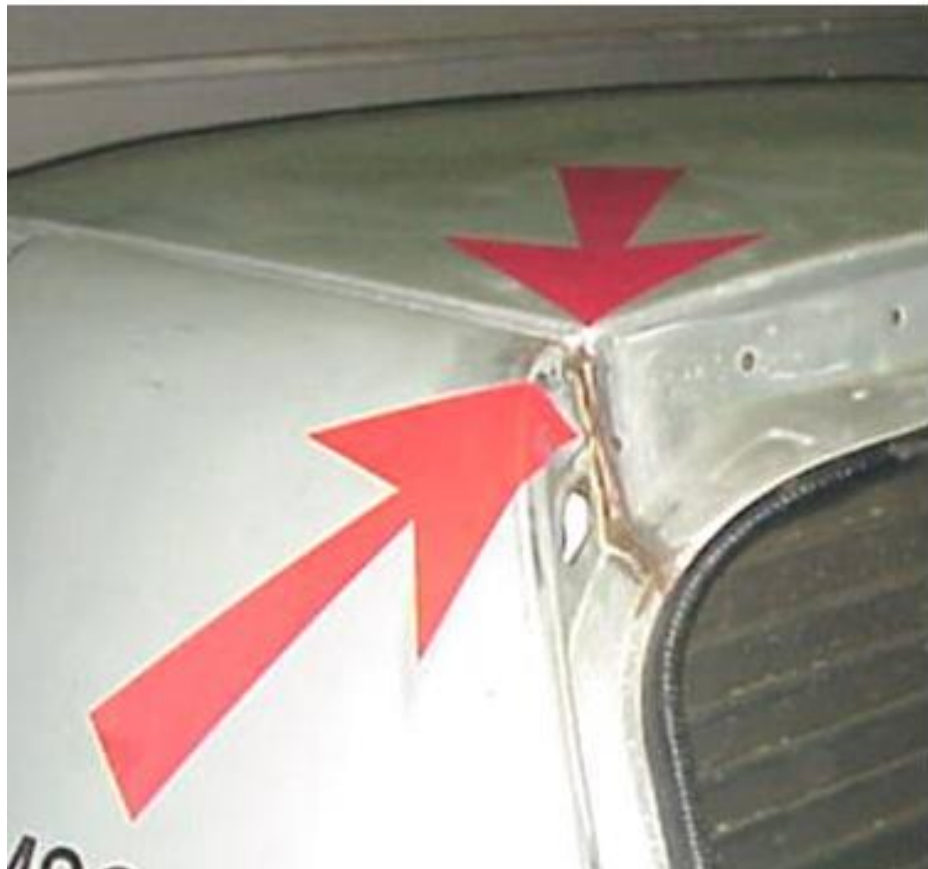
Figura 37 – Equipamento esquemático MIGBrazing.



Fonte: (Notas de aula, 2017).

Outro aspecto positivo do processo de soldabrasagem é a preservação da proteção contra corrosão quando aplicado a materiais galvanizados ou aluminizados. O baixo ponto de fusão do metal de adição (adequado a cada metal de base) permite a união da junta sem afetar o revestimento ante corrosivo. A Figura 38 mostra uma junta típica onde o processo é aplicado na indústria automotiva.

Figura 38 – Junta automotiva soldada por MIGBrazing.



Fonte: (Notas de aula, 2017).

Os equipamentos e insumos utilizados nos processos de soldabrasagem, exceto pelo metal de adição, se assemelham muito com os utilizados no processo GMAW (gás de proteção, fonte de energia, tocha para soldagem etc.), entretanto as velocidades de soldagem são significativamente maiores assim como a corrente de operação tende a ser mais baixa. A Figura 39 mostra uma junta soldabrasada por Mig Brazing.

Figura 39 – Soldabrasagem por MIG Brazing.



Fonte: (Adaptado de MILLER WELDS, 2019).

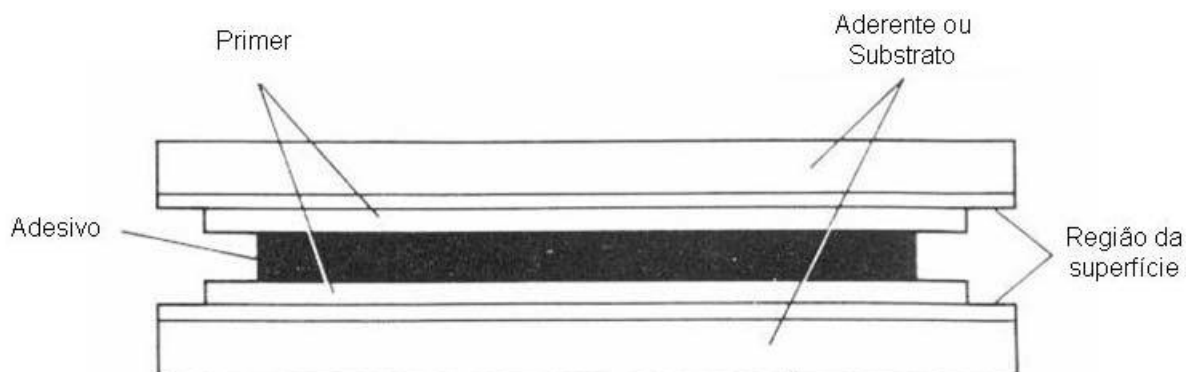
9 UNIÃO COM ADESIVOS

De acordo com Mendes (2005), adesivos são substâncias capazes de manter unidos, pelas superfícies de contato, materiais similares ou distintos, utilizando para esse fim propriedades físico químicas próprias do adesivo a ser utilizado.

A principal característica do adesivo é a adesão, que pode ser definida como sendo o estado no qual duas superfícies de composição molecular diferentes, se unem por forças de atração, as quais podem ser químicas, mecânicas ou físicas.

Uma condição fundamental para se obter adesão, é que o adesivo deva estar em íntimo contato com o substrato para facilitar a atração molecular e propiciar adesão química ou mecânica, como mostra a Figura 40.

Figura 40 – Junta adesivada.



Fonte: Mendes (2005).

A adesão mecânica ocorre dá quando há o aprisionamento físico do material dentro de cavidades naturais ou artificiais em outro corpo. Já a adesão química é representada pelas forças de valência primária, como ocorre nas ligações iônicas covalentes e metálicas e ainda pelas forças de valências secundárias, que são as forças de Van Der Walls. A adesão física depende das forças de valência secundaria, essas forças ocorrem de dipolos moleculares e na interação da nuvem de elétrons desprotegidos (NAKABAYASHI, PASHLEY, 2000).

A necessidade de se unir peças é bastante frequente no campo de aplicações técnicas, que são encontradas na indústria automotiva, eletroeletrônica, entre outras. Muitas vezes utiliza-se adesivos os invéses de parafusos e rebites (união mecânica). A Figura 41 mostra de forma esquemática uma junta típica da indústria automotiva (teto com coluna traseira), na qual é comum o uso de adesivos.

Figura 41 – Junta com utilização de adesivos na indústria automotiva.



Fonte: Neto *et al.* (2010).

Os adesivos devem apresentar as seguintes características: Resistência, tenacidade, resistência a fluidos, produtos químicos e degradação causada por meio externo (temperatura e umidade). As juntas devem ser projetadas para suportar forças de cisalhamento, tração e compressão.

9.1 Usos de Adesivos

A aplicação deste tipo de união engloba a construção civil, trabalhos em madeira, indústria automobilística, aeronáutica e naval, móveis, livros, entre outros. A união de peças com adesivos é um dos mais convenientes métodos de montagem de componentes plásticos, tanto para polímeros iguais como para os diferentes, isso do ponto de vista de estrutura química, isto se deve a:

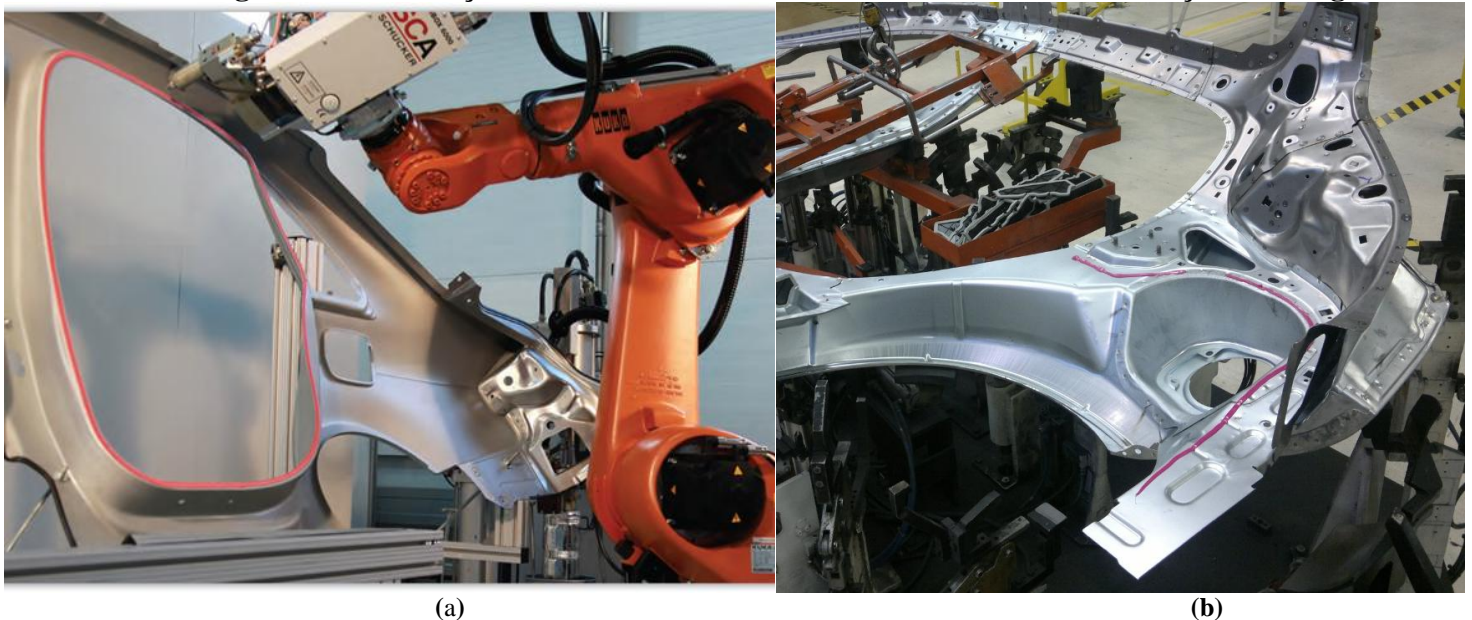
- Os adesivos distribuem a tensão aplicada nas peças montadas por toda área em que o mesmo está presente e produzem uma selagem hermética se necessário;
- Adesivos flexíveis podem eliminar problemas de fixação de materiais com diferentes coeficientes de expansão térmica e rigidez;
- Existe uma infinidade de tipos disponíveis no mercado, sendo alguns de baixo custo e que não requerem condições especiais para sua aplicação.

A escolha do adesivo deve levar em conta as exigências da aplicação como temperatura de trabalho, resistência química, umidade do meio, etc. Além disso, os seguintes fatores devem ser considerados:

- A temperatura de cura do adesivo não pode ultrapassar a temperatura de distorção térmica do polímero utilizado para moldar a peça a ser "colada";
- Os adesivos devem ser previamente testados quanto a compatibilidade com o polímero em questão, levando-se em consideração a tensão residual da peça e a temperatura a que esta será exposta;
- Deve-se verificar a resistência a adesão usando-se corpos de prova de tração, impacto e cisalhamento.

Na indústria automotiva, o uso de adesivos pode inclusive substituir a utilização da soldagem entre chapas metálicas em diversas situações, desde que o projeto da junta seja adequado à aplicação dos mesmos (MENDES, 2005). A Figura 42 mostra alguns exemplos reais de aplicação de adesivos estruturais na união de chapas na indústria automotiva em detrimento a pontos de solda.

Figura 42 – Utilização de adesivos na indústria automotiva em substituição à soldagem.



Fonte: (a) (FERNANDES, V.K.; MARTENDAL, C.P., 2016); (b) Próprios autores (2012).

De modo geral, o uso de adesivos em substituição à soldagem se justifica por sua elevada resistência (capaz de resistir aos mais variados esforços a que uma carroceria é submetida), redução das distorções causadas pela soldagem, capacidade de vedação e impermeabilização da área adesivada (caso muito comum na fabricação de partes móveis dos veículos como portas,

tampas e capôs) ou mesmo pela impossibilidade de soldagem a ponto ou por qualquer outro processo por se tratar de junta com três ou mais chapas em área visível. A Figura 43 mostra a utilização de adesivo estrutural na flangeatura da porta de um automóvel.

Figura 43 – Utilização de adesivos na indústria automotiva em substituição à soldagem.



Fonte: Mendes, (2005).

Em áreas visíveis e sujeitas a grandes deformações nas carrocerias automotivas, como em regiões de lanternas e bocais de combustível, também é comum o uso de adesivos em lugar de soldas, como exemplificado na Figura 44.

Figura 44 – Utilização de adesivo na região da lanterna traseira em automóvel.

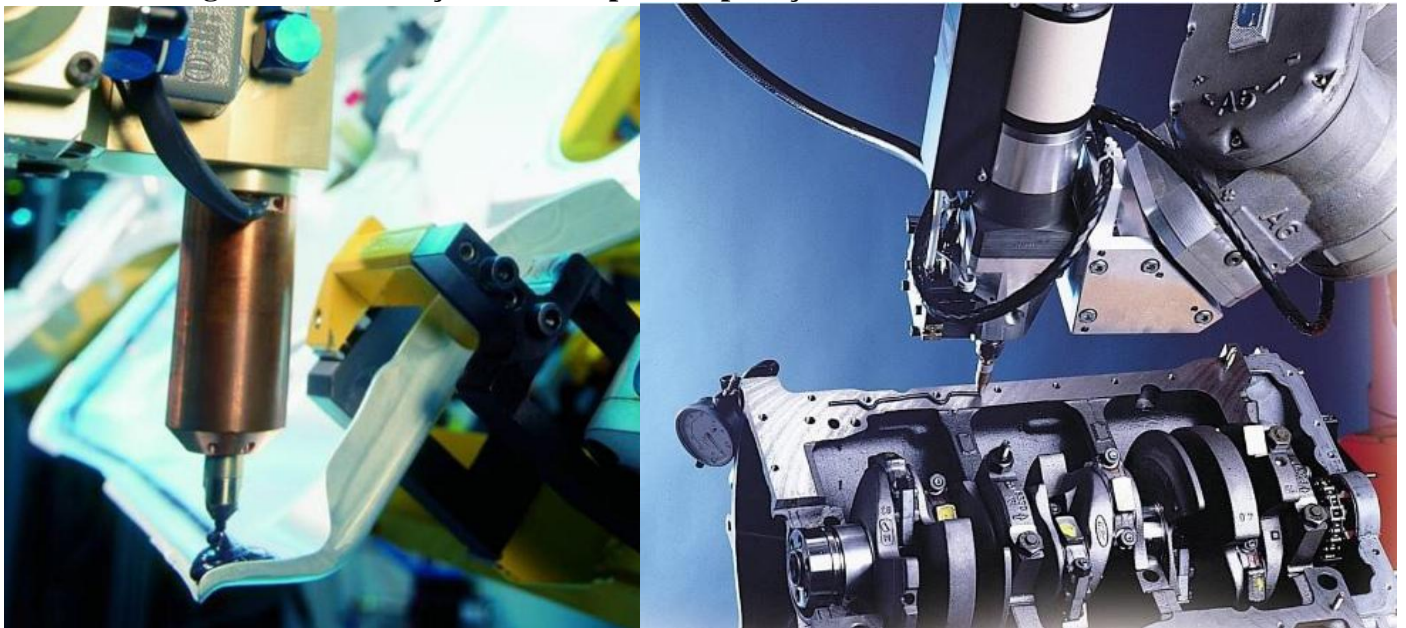


Fonte: Próprios autores, 2012.

Segundo Mendes (2005), para se obter a melhor resistência da união recomenda-se remover todos os contaminantes da superfície, tais como graxa, óleo e poeira com álcool isopropílico ou detergente neutro. Sempre que possível, não utilizar agente desmoldante na própria peça ou mesmo na área de fabricação desta. Caso as peças estejam contaminadas com silicone, é recomendado que se limpe a peça com álcool isopropílico, lixe a região a ser colada e limpe-a novamente com álcool isopropílico. Se a união for entre metais, e se estes estiverem oxidados, a impureza deverá ser retirada através de jateamento de areia, lixamento ou decapagem por banho químico e posterior desgorduramento através de limpeza química.

Até em função da necessidade limpeza na aplicação dos adesivos automotivos a fim de se alcançar melhores resultados, não é incomum o uso de robôs para esta finalidade, como mostra a Figura 45.

Figura 45 – Utilização de robôs para a aplicação de adesivos na indústria automotiva.



(a)

(b)

Fonte: (a) (ISHIKAWA, 2015); (b) (LOCTITE, 1995).

9.2 Vantagens e Desvantagens dos Adesivos

As principais vantagens do uso de adesivos são: Homogeneidade; união de peças finas e frágeis; não interferem esteticamente nas superfícies expostas; não interferem nos contornos; distribuem a tensão de maneira uniforme; unem materiais dissimilares com diferentes expansões térmicas; fornecem proteção contra corrosão e promovem amortecimento mecânico.

Contudo algumas desvantagens no uso de adesivos também são percebidas. São elas: Prazo de validade limitado; apresentam formulações numerosas e variadas; exigem controle, montagem e testes complexos; somente teste destrutivos; exigem mão-de-obra qualificada; às vezes são necessários processo de cura (aquecimento em forno); exigem limpeza minuciosa e preparação das superfícies a serem unidas.

Existem vários tipos de adesivos industriais, porém os mais utilizados na indústria automobilísticas são os adesivos sintéticos e os orgânicos termofixos, que podem ser epóxis, uretanos, acrílicos, cianoacrilatos ou silicones.

10 SOLDAGEM A LASER

O Processo de soldagem a LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation), luz amplificada pela emissão estimulada da radiação, é caracterizado pela fusão localizada da junta através de seu bombardeamento por luz concentrada coerente e monocromática de alta intensidade.

Falando um pouco sobre o histórico da soldagem a LASER:

- Em 1916 Albert Einstein: Descreveu os fundamentos da invenção do LASER, a partir dos princípios básicos da emissão estimulada. A teoria ficou esquecida até o final da Segunda Guerra Mundial.
- Em 1953 e 1960 Charles Townes, Nicolai Basov e Aleksander Prokhorov, Desenvolveram a ideia de Einstein, com ondas de rádio e micro-ondas. Receberam o prêmio Nobel da Física em 1964.
- Em 1960 Theodore Maiman, inventou o LASER de Rubi, considerado o primeiro LASER óptico.

Durante mais de 20 anos o LASER tem mostrado sua capacidade em produção. A indústria automobilística começou utilizando o LASER como uma ferramenta de corte em protótipos e também para a confecção de furos em peças de produção. Em ambas as aplicações a técnica de corte a LASER se mostrou muito vantajosa tanto em termos de qualidade de corte como na redução dos tempos e dos custos.

Logo depois a soldagem a LASER foi iniciada, começando com a soldagem componentes do motor e de transmissão, onde o LASER substituiu a soldagem por feixe eletrônico.

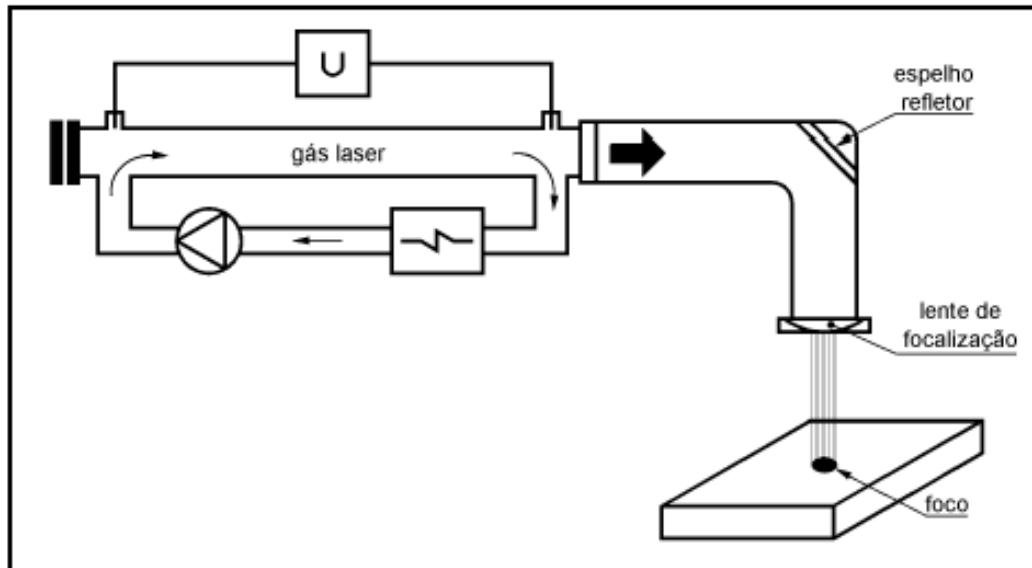
10.1 Mecanismo de Emissão do LASER e Técnicas de Soldagem

Na emissão estimulada de energia, princípio de ação do LASER, os átomos são primeiramente excitados através de uma fonte de energia elétrica ou luminosa. Quando um adicional de energia é absorvido pelo átomo em seu estado elevado de energia, ocorre a libertação de mais energia, em forma de fótons, enquanto volta para o seu estado estável. Esses mecanismos podem ser através de lâmpadas ou por bomba de diodo.

Os equipamentos para a soldagem a LASER são: fonte de alimentação, o meio LASER que pode ser (CO₂ / YAG), cavidade ressonante, espelhos e lentes e por fim cabeçote, que é

composto de LASER + gás de proteção. A Figura 46 mostra esquematicamente o mecanismo de produção de um feixe LASER.

Figura 46 – Mecanismo esquemático para produção do LASER.

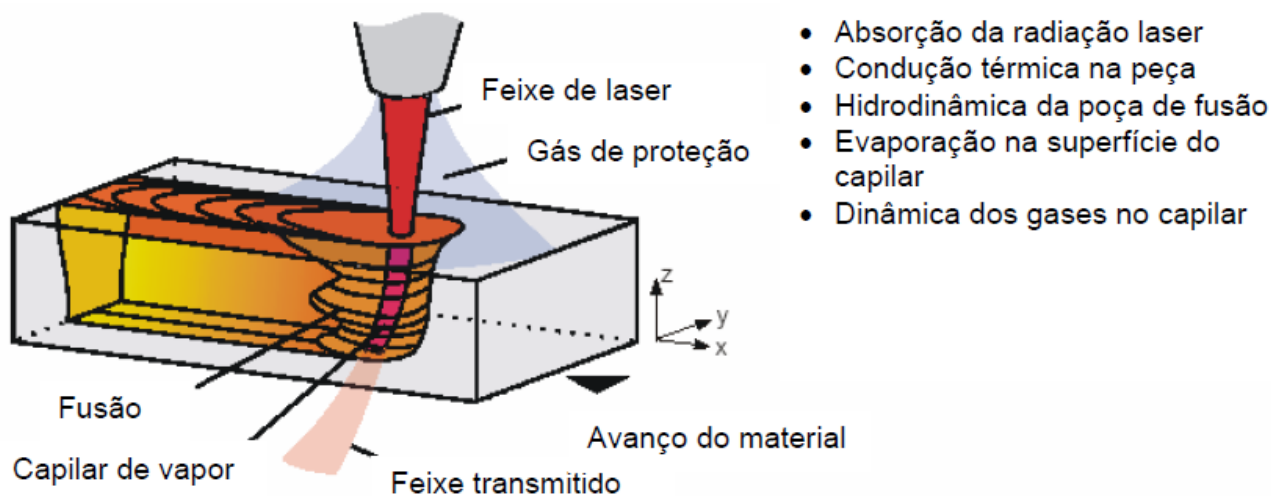


Fonte: (Notas de aula, 2018).

A Fonte de alimentação é responsável por fornecer a energia para a excitação dos átomos, o meio é utilizado para fazer a conversão da energia elétrica em energia radiante, a cavidade ressonante que é onde ocorre o processo de ampliação da radiação e esta deve ser livre de contaminações.

O mecanismo de solda a LASER é o mesmo que qualquer outro processo térmico: o material na região de soldagem é aquecido até que se liquefaça e, ao se solidificar, forma o cordão de solda, há dois processos de soldagem a LASER, o primeiro é por condução térmica e o segundo por *key hole*, como mostrado na Figura 47.

Figura 47 – Soldagem a LASER por *Key Hole*.



Fonte: (INFOSOLDA, 2019).

A soldagem a LASER pode ocorrer por condução térmica, onde o material é liquefeito até a profundidade permitida pela difusão térmica. São cordões de solda muito pequenos, com razão de profundidade de aproximadamente 1 mm. Devido à limitação da profundidade a alguns décimos de milímetro, este tipo de solda é utilizado em peças de parede muito fina.

O outro modo de soldagem é conhecido por *Key Hole*, no qual utilizando-se de energia suficiente, o LASER pode aquecer a superfície do material até o ponto em que o mesmo comece a vaporizar, produzindo um furo, onde o calor é conduzido de forma radial. O raio LASER penetrando no *Key Hole* é refletido várias vezes sobre as bordas do material, sendo que a cada vez o material absorve mais e mais energia.

10.2 Vantagens e Desvantagens da Soldagem a LASER

As principais vantagens do processo de soldagem LASER são: Raro o uso de metais de adição; contaminação mínima da poça; processo favorável para automação e facilmente monitorado e controlado; o LASER pode ser transmitido no ar, não necessitando de um vácuo sobre a peça (contudo, o uso de uma proteção gasosa é recomendável, particularmente para materiais reativos); não ocorre a geração de raios X com o LASER.

Mesmo sendo tão eficiente, a soldagem a LASER também apresenta algumas desvantagens. São elas: Devido ao feixe altamente focado, o processo não tolera diferenças maiores que 10% da espessura dos materiais que serão soldados; em função do risco de acidentes, é necessário uso de equipamentos e isolamento da área de trabalho; requer

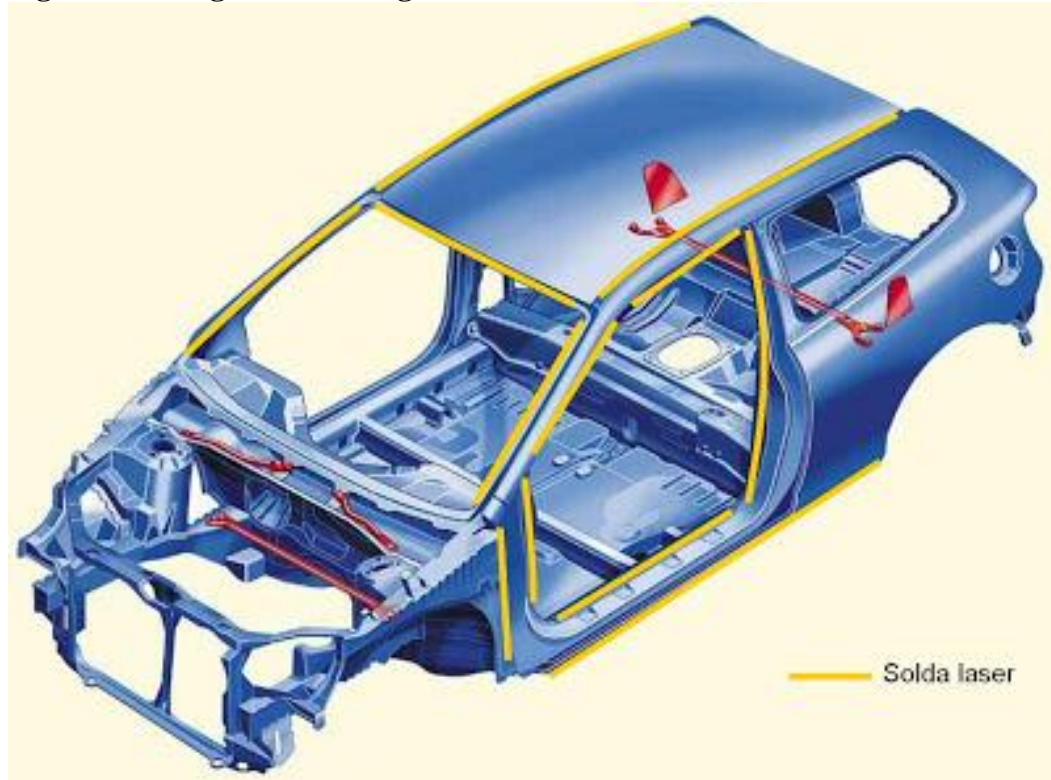
treinamento do operador; investimento alto de equipamento; gastos com consumíveis (gases, lentes especiais); a penetração depende das características do material.

Um defeito recorrente na soldagem a LASER é a formação de poros. Segundo Carvalho (2012), o processo LBW, seja por condução ou penetração, é susceptível a defeitos como porosidade e trincas. A porosidade pode surgir por diversos de fatores, entre os principais estão as quantidade de gases dissolvidos no metal líquido, oriundos do próprio metal base ou da proteção gasosa do processo. A estabilidade do processo também é essencial para um baixo nível de porosidade, uma vez que quando instável, o *key hole* não sustenta as paredes de metal líquido, que acabam cedendo e engolfando pequenos volumes de gases. A porosidade no *key hole* pode ser cíclica, dependendo das condições de soldagem, e tende a ocorrer próxima a raiz do cordão.

A soldagem LBW tem substituído, em alguns casos, a soldagem a pontos por resistência na fabricação da carroceria de veículos. Como exemplo pode-se citar o teto do Polo Sedan da Volkswagen, fabricado na unidade da VW em São Bernardo do Campo – SP.

A Figura 48 mostra regiões da carroceria soldadas com o processo de solda LASER.

Figura 48 – Regiões de soldagem a LASER na carroceria do VW Polo Sedan.



Fonte: (INFOSOLDA, 2019).

10.3 Avanços na Soldagem LASER

Andrade (2019) diz que duas ou mais chapas de materiais similares ou totalmente distintos, por exemplo, espessura ou suas propriedades químicas e físicas; são soldadas formando um *blank* único, antes da etapa da conformação final. A indústria automobilista vem inovando a cada dia mais a fim de satisfazer um mercado cada vez mais competitivo e exigente, e o TWB (*Tailor Welded Blank*) aparece como alternativa para se otimizar os veículos produzidos em relação a redução de massa e incremento de segurança. Apesar dos avanços na indústria automobilística, a aplicação de TWB pode ser considerada recente, sendo sua primeira ocorrência nos anos 60, na porta dos automóveis Honda, com o intuito de redução de custo.

Na Europa, a Volvo deu início ao uso do TWB em 1979, porém somente a partir dos anos 80 a tecnologia de soldagem a LASER passou a ser utilizada para se obter o TWB. Apesar do excelente resultado final, o uso não foi bem aceito pelas montadoras, e somente na década de 90 iniciou-se o uso em larga escala (ANDRADE, 2019).

Ainda segundo Andrade (2019), algumas das vantagens de se trabalhar com TWB são:

- Redução global de massa de veículos;
- Melhoria de tolerâncias dimensionais, por se tratar de um processo único e contínuo de soldagem;
- Melhoria de resistência à corrosão;
- Melhoria global de resistência mecânica;
- Melhoria de desempenho em colisões, em virtude da melhor utilização de materiais e suas propriedades, permitindo maior absorção de energia pela estrutura do veículo.

10.3.1 Soldagem de Tailor Welded Blanks

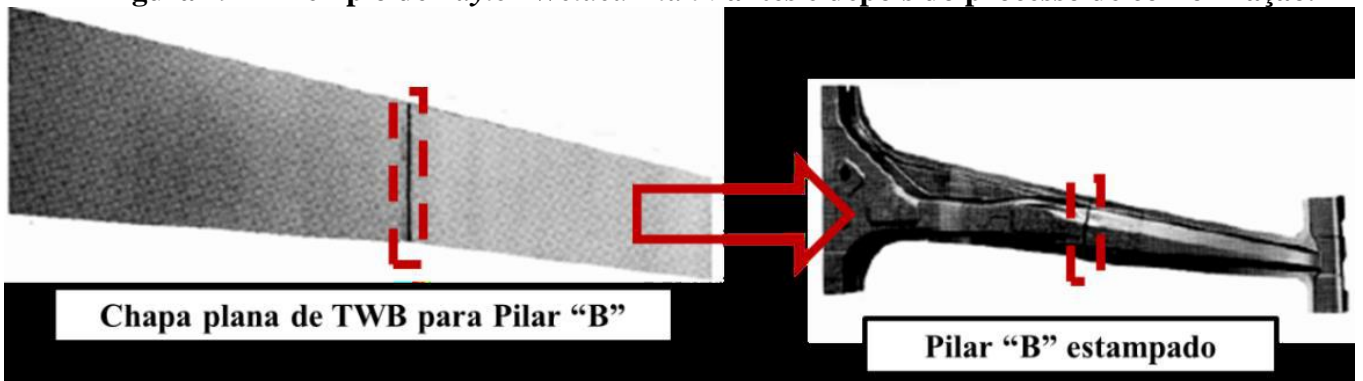
Um dos fatores determinantes no comportamento mecânico de um *Tailor Welded Blank* é sua soldagem. Além do processo a LASER, pode-se aplicar a soldagem por fricção, soldagem de costuras por resistência e soldagem a arco com proteção gasosa e eletrodo de tungstênio (GTAW). Desde os anos 90 a soldagem a LASER é o principal processo usado nas montadoras para a fabricação de TWBs. Para que a soldagem a LASER de TWBs seja considerada de boa qualidade, deve atingir penetração total e não apresentar porosidade (ANDRADE, 2019).

De acordo com Andrade (2019) os principais parâmetros a serem levados em consideração no processo LBW para TWBs são:

- Angulo de incidência do feixe de LASER
- Velocidade de soldagem
- Espessura das chapas
- Largura do feixe de LASER
- "Gap" entre as chapas
- Posição focal do feixe
- Densidade de Potencia
- Gás de proteção

A Figura 49 exemplifica um TWB antes e depois de conformado, destacando a linha de soldagem entre os dois diferentes materiais. Para esta aplicação exemplificada, o uso do TWB se justifica pela aplicação da peça em uma região da carroceria do automóvel onde se exige maior resistência mecânica, que sem o uso do TWB implicaria em aumento significativo de massa.

Figura 49 – Exemplo de *Taylor Welded Blank* antes e depois do processo de conformação.



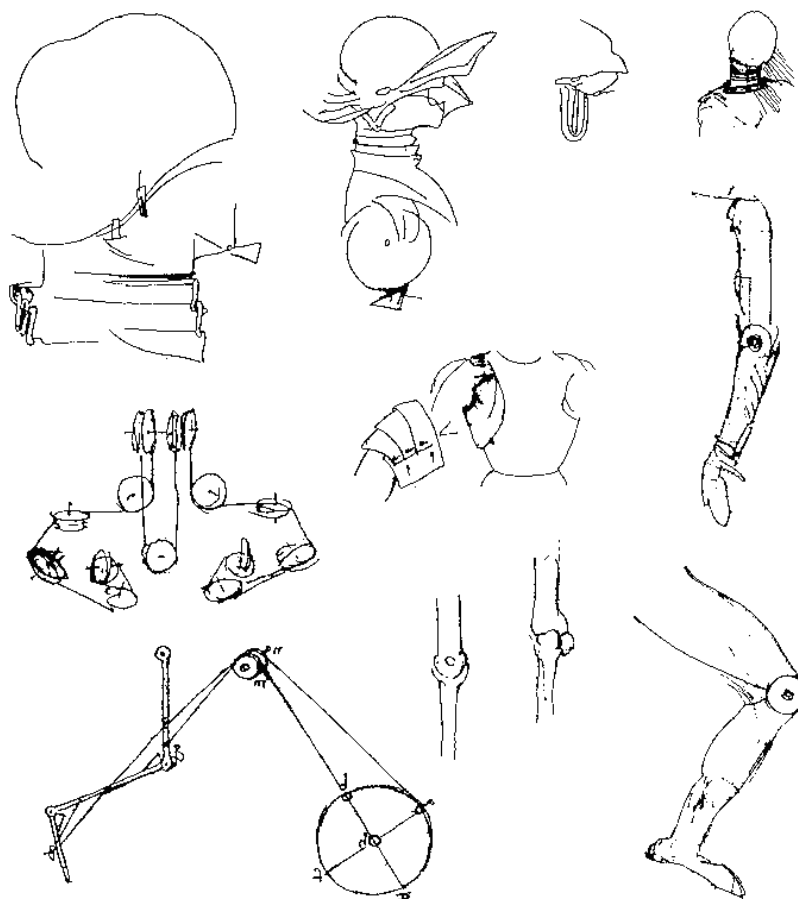
Fonte: Andrade (2019).

11 ROBOTIZAÇÃO DA SOLDAGEM NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

De acordo com Pires (2005), o surgimento e desenvolvimento da robótica pode ser datado a partir de 270 a.C., na Grécia antiga, com os relógios de água de Ctecibius, passando por vários impérios do mundo antigo, tendo como principal desafio nesse período a transmissão de força e de movimento.

Superadas as barreiras de transmissão pelo desenvolvimento dos sistemas mecânicos, no século XV os grandes desafios enfrentados por Leonardo Da Vinci eram a falta de precisão e a impossibilidade de manutenção da força, como relatado na tentativa de construção de um robô humanoide, mostrado na Figura 50.

Figura 50 – Estudos de Da Vinci para a construção de um robô humanoide.



Fonte: Pires *et al.*, (2005).

Ao longo dos séculos, vários avanços tecnológicos surgiram, viabilizando a transmissão e manutenção de força e movimento, e com elevados controle e precisão. Contudo os robôs só começaram a ser aplicados à indústria de modo geral na década de 1970, dando início a uma indústria milionária e altamente tecnológica.

Para a indústria automotiva, apesar de se tratar de um investimento consideravelmente elevado, a robotização tem se mostrado ao longo dos anos um investimento viável. Mesmo apresentando custo inicial muito elevado, a robotização traz benefícios capazes de compensar o valor investido

Além da capacidade de substituir inúmeros trabalhadores, robôs podem garantir repetibilidade, precisão confiabilidade e menor custo de operação. Contudo a robotização além de exigir mão de obra qualificada para operação, exige mudanças estruturais no modo produtivo, podendo muitas vezes ser conciliada com a utilização da mão de obra convencional, a fim promover ganhos em produção, qualidade e segurança. A Figura 51 mostra uma linha de soldagem a ponto robotizada.

Figura 51 – Linha robotizada de soldagem a ponto.



Fonte: (REVISTA ÉPOCA, 2015).

A robotização se adaptou de forma extraordinária aos processos de soldagem na indústria automobilística, e apesar do elevado custo, vem se difundindo mais a cada dia, se mostrando cada vez mais versátil e adaptável aos inúmeros processos presentes na produção automotiva. A Figura 52 mostra a aplicação de robôs na soldagem GMAW.

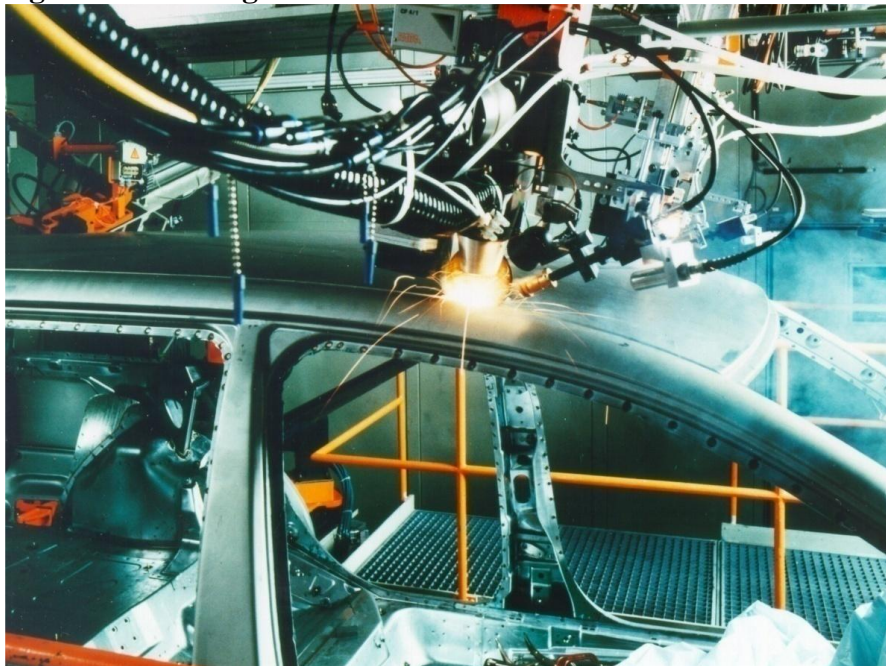
Figura 52 – Soldagem GMAW robotizada de carroceria automotiva.



Fonte: (FRONIUS, 2020)

A evolução dos robôs permitiu também o avanço da soldagem para a produção de automóveis, como é o caso da soldagem a LASER, impraticável em escala industrial para aplicação manual, mas que permite ganhos ainda maiores em produtividade, qualidade e limpeza do processo de soldagem, além de possibilitar a soldagem de materiais muito reativos como alumínio, magnésio e titânio de forma mais eficiente. A Figura 53 mostra a soldagem a LASER robotizada.

Figura 53 – Soldagem robotizada a LASER de carroceria automotiva.



Fonte: (Notas de aula, 2018).

12 OUTROS PROCESSOS APLICADOS À INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Além dos processos já mencionados, a indústria automotiva de modo geral conta com diversos outros processos de soldagem e união de materiais. Geralmente aplicados a materiais poliméricos como a soldagem por ultrassom, metais não ferrosos como a soldagem por fricção (*Friction Stir Welding*) ou juntas com materiais dissimilares na junções híbridas, esses processos vem ganhando cada vez mais espaço no mundo automotivo, em especial porque estão associados de modo geral a tentativas de redução de peso dos veículos mais novos, numa demanda mundial por maior eficiência, economia e redução de danos ao meio ambiente (BERGMANN; STAMBKE, 2012).

12.1 Soldagem por Ultrassom

A solda por ultrassom é um processo de soldagem em estado sólido que consiste na aplicação de ondas sonoras de altíssima frequência (da ordem de 20 kHz) sobre os materiais a serem unidos, estes expostos a uma força de compressão, permitindo ao final do processo a união dos componentes (BALLE *et al*,2014)

A alta frequência é transmitida para as partes a serem soldadas através de um transdutor comumente chamado sonotrodo. Os sonotrodos variam em forma, função e materiais, de acordo com a junta a ser soldada.

De modo geral, a utilização da soldagem por ultrassom é mais comum em componentes poliméricos, como mostra a Figura 54, contudo com as devidas alterações, o processo é passível de ser aplicado a metais e juntas de materiais dissimilares (geralmente polímeros e metais). No caso de metais, o mais usual é utilizar o processo para soldagem do alumínio.

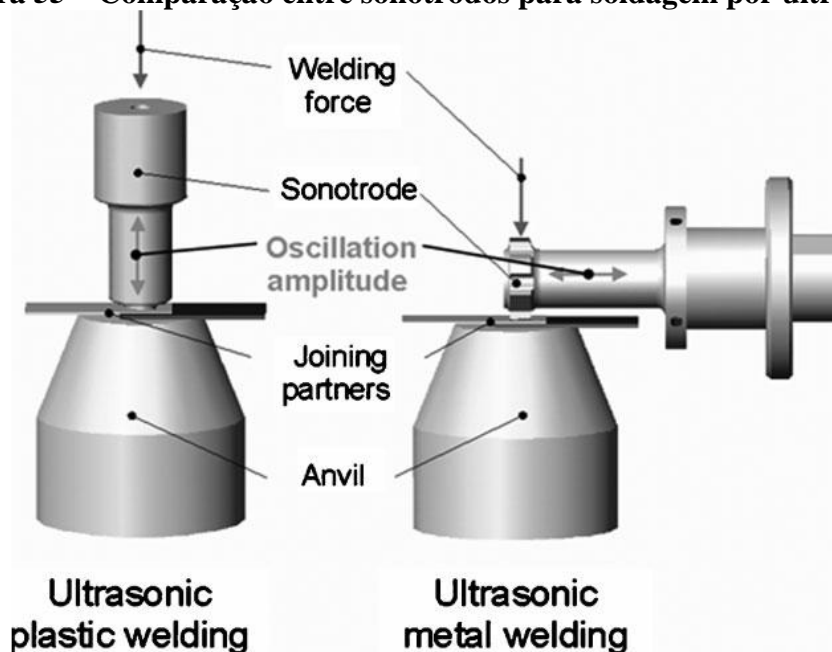
Figura 54 – Componentes soldados por ultrassom.



Fonte: (HERRMANNULTRASCHALL, 2019).

A Figura 55 mostra dois tipos de sonotrodos aplicados ao processo de soldagem e o princípio de funcionamento para soldagem de polímeros e metais.

Figura 55 – Comparação entre sonotrodos para soldagem por ultrassom.



Fonte: Balle, (2014).

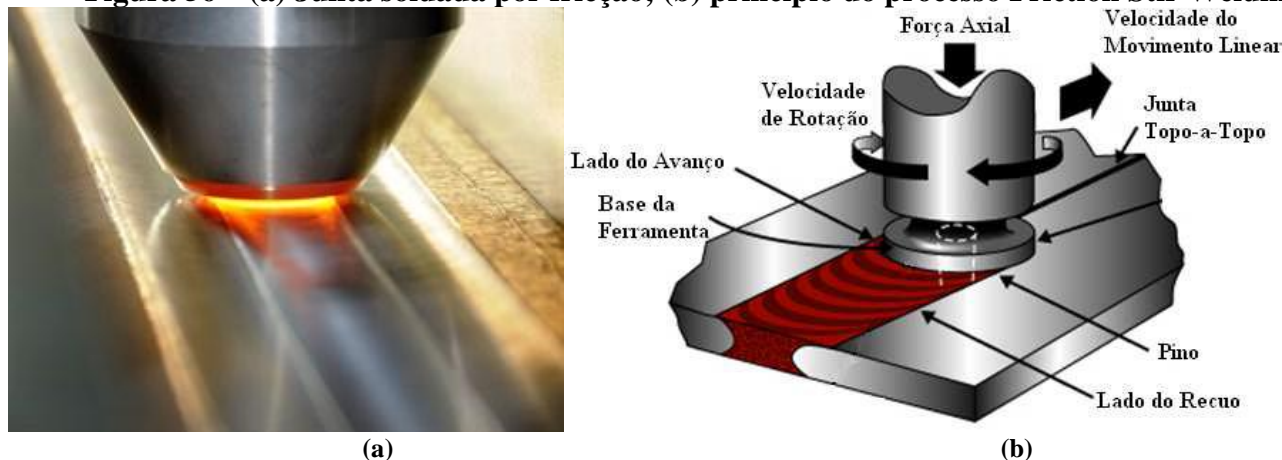
12.2 Soldagem por Fricção (*Friction Stir Welding*)

A soldagem por fricção assim como a soldagem por ultrassom, trata-se de um processo de soldagem em estado sólido, que consiste no atrito de um material com outro, podendo o primeiro ser consumível ou não, gerando calor o suficiente para o coalescimento dos materiais a serem unidos, permitindo assim através de uma ação mecânica, a solda dos componentes.

De modo geral o processo aplicado à indústria automotiva (*Friction Stir Welding*) é utilizado para união de materiais metálicos não ferrosos, principalmente o alumínio, tendo como principais vantagens a baixa geração de calor, alterando pouco ou quase nada as propriedades mecânicas do metal de base, o bom acabamento e a baixa geração de resíduos.

Contudo, para materiais ferrosos ou de maior resistência mecânica, o processo ainda apresenta limitações significativas, em especial quanto a ferramentas resistentes o suficiente e equipamentos capazes de exercer o esforço necessário ao processo. A Figura 56 mostra uma junta em alumínio solda pelo processo *Friction Stir Welding* (a) e um esquema do processo de soldagem por fricção (b)

Figura 56 – (a) Junta soldada por fricção; (b) princípio do processo Friction Stir Welding.



Fontes: Mendes (2005); Lapão (2008).

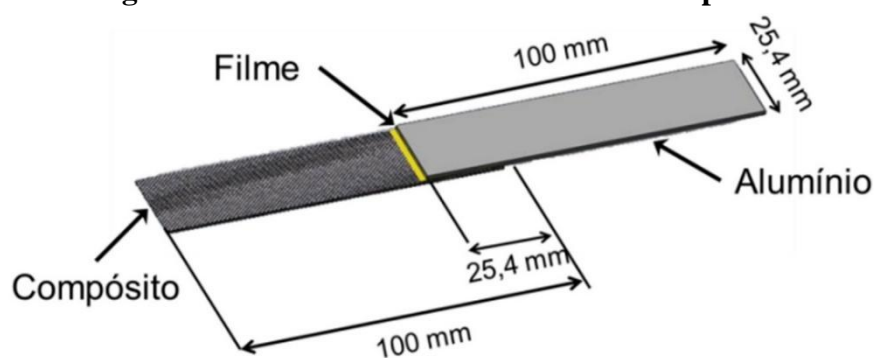
12.3 Junções Híbridas

Junções híbridas são aquelas juntas que envolvem mais de um tipo de material, como polímeros e metais ou mesmo mais de um tipo de método de união, como em casos que envolvem prensagem e adesivos estruturais ou semiestruturais.

Esse tipo de junta tem sido cada vez mais comum, especialmente na esteira da necessidade de redução de peso exigida para todos os veículos pelas legislações ambientais atuais da maior parte do mundo. Com isso novos materiais surgem a cada dia, e o desafio passa a ser como conseguir juntas mecanicamente eficientes, que não afetem a produtividade e que sejam economicamente viáveis.

Vários métodos são aplicados nesse tipo de junta: LASER, adesivos, uniões mecânicas, soldas por fricção, plasma. A Figura 57 traz um exemplo de junção híbrida, utilizando ancoragem mecânica e adesivo polimérico, unindo alumínio a um compósito.

Figura 57 – Junta híbrida de alumínio e compósito.



Fonte: André *et al* (2014).

13 CONCLUSÕES

A indústria automotiva sempre demandou e continua demandando avanços tecnológicos nos meios produtivos. Nos últimos anos essa demanda tem aumentado significativamente, principalmente afim de acalmar as pressões socioambientais, que têm obrigado a indústria automobilística avançar ainda mais no desenvolvimento de novos materiais, mais leves, ecológicos, mecanicamente eficientes e mais baratos.

Essa evolução dos materiais invariavelmente leva a evolução dos métodos e processo de união dos mesmos, como tem sido ao longo do último século, e certamente continuará a ocorrer por muitos anos. Além disso há sempre a tentativa de se reduzir custos de produção

Atualmente o que há de mais moderno em termos de juntas e uniões na indústria automotiva gira em torno de tecnologias envolvendo a aplicação de LASER, como o uso de TWB, as uniões híbridas.

Com os mais recentes avanços em materiais e a incessante e crescente pressão socioambiental, para o futuro é possível apostar em junções híbridas mais frequentes, abrindo ainda mais espaço para processos como ultrassom, adesivos e mesmo para novas tecnologias relacionadas ao LASER.

Ainda ligado à soldagem a LASER, o uso de TWBs é uma realidade presente na indústria automotiva mundial, estando presente desde os mais baratos, populares e com menor tecnologia envolvida, até os mais modernos e luxuoso automóveis. Isso se deve à possibilidade de redução de peso global nas carrocerias destes veículos, utilizando materiais ultra resistentes (mais caros) com espessuras delgadas, conseguindo ainda sim manter custos aceitáveis e alcançando as metas impostas pelas normas ambientais, a cada dia mais exigentes, em especial com relação a consumo de combustíveis e emissão de poluentes.

Associado a isso, destaca-se o significativo incremento em segurança oriundo do uso dos novos aços presentes nos TWBs. Materiais com tecnologias avançadas que permitem pontos de deformação programada e maior absorção de energia em caso de colisão.

É perceptível também o avanço no uso cada vez maior de polímeros e materiais compósitos como a fibra de carbono na indústria automotiva. Contudo a união de tais materiais ainda depende basicamente de fixações mecânicas e adesivos, o que leva a crer que há espaço para o surgimento em breve de novas tecnologias capazes de suprir essa demanda futura.

A indústria automotiva está em constante evolução, junto com ela nossas prioridades, estilos de vida, empregos e tudo mais em nosso cotidiano.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Etiene Pereira de. **Caracterização mecânica e análise microestrutural de chapas obtidas pelo processo de tailor welded blank (TWB)**. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia – UFMG. 2019. 115 p.

ANDRÉ, Natália M. *et al.* **Influência da espessura do filme polimérico intermediário na resistência mecânica de juntas híbridas de alumínio 2024-T3 e CF-PPS** Produzidas por União Pontual por Fricção. *Soldag. insp.*, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 2-15, Março. 2016 disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-92242016000100002&lng=en&nrm=iso>. Acessado em: 24/09/2019.

ARO. **Soldagem por resistência 1950**. Disponível em: <<http://www.arotechnologies.com/images6400aro-homepage-picture-70-years.jpeg>> Acesso em: 22 de fevereiro de 2020.

AURES, José Enrique Vargas. **Estudo da formação, geometria e resistência do ponto na soldagem por resistência: uma abordagem estatística**. Mestrado em Sistemas Mecatrônicos. Universidade de Brasília. Brasília, 2006. 143 p.

AVENTA. **Infográfico história da soldagem**. Disponível em: <<https://aventa.com.br/novidades/infografico-historia-da->> Acesso em: de 9 de setembro de 2019.

AWS - American Welding Society. **Standard welding terms and definitions**. EUA: AWS, 2001.

BALLE, Frank; WAGNER, Guntram; EIFLER, Dietmar. **Ultrasonic metal welding of aluminium sheets to carbon fibre reinforced thermoplastic composites**. *Advanced Engineering Materials*, 11, no. 1 – 2. 2009.

BARNES, T.A.; PASHBY, I.R. **Joining techniques for aluminium spaceframes used in automobiles Part II Ð adhesive bonding and mechanical fasteners**. *Journal of Materials Processing Technology*, 2000.

BERGMANN, Jean Pierre; STAMBKE, Marti. **Potential of laser-manufactured polymer-metal hybrid joints**. *Physics Procedia*, nº 39, 84 – 91. 2012.

BINZEL-ABICOR. **Tochas de soldagem MIG/MAG ABIMIG® A LW**. Disponível em: <<https://www.binzel-abicor.com/BR/por/produtos/manual/tochas-migmag/welding-torch-abimig-a-lw/>> Acesso em: 15 de dezembro de 2019.

BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Processo de soldagem por resistência**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. UFMG. Belo Horizonte, 2000. 18 p.

BRANCO, H. L. O.. **Avaliação de capas de eletrodos utilizadas na soldagem por resistência de chapas galvanizadas automotivas**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Mecânica. Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil. 2004. 113p.

CAIUSCA, Alana. **Idade dos metais**; Guia Estudo. Disponível em <<https://www.guiaestudo.com.br/idade-dos-metais>>. Acesso em 29 de janeiro de 2020.

CARVALHO, Sheila Medeiros de. **Estudo da soldabilidade a laser e a TIG do titânio comercialmente puro grau 2 empregado em sistemas pneumáticos de aeronaves**. Tese de Doutorado (Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais). Escola de Engenharia de Lorena – USP. Lorena, 2012. 157 p.

CHANG, H. S. e CHO, H. S. (1990). "A study on the shunt effect in resistance spot welding." Welding Journal, August, Vol. 69, N° 8.

COLOMBARI, Roland Robert. **Aplicação de delineamento de experimentos para o processo de solda à projeção**. Mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2004. 106 p.

COMBUSTOL. **Brasagem**. Disponível em: <<http://www.combustol.com.br/combustol.php?cod=17>> Acesso em: 17 de dezembro de 2019.

CORREIA, Anderson Luís Garcia. **Soldagem por resistência: processo por pontos, por costura, por projeção, de topo, aplicações, vantagens e desvantagens**. IFMG Santa Catarina. Santa Catarina, 2017.

DEL VAN, Gisele Da Silva. **Sistemas adesivos dentários**. Escola de Aperfeiçoamento Profissional. Curso de Esp. em Dentística Restauradora. Florianópolis, 2001. Disponível em: <http://mmborges.com/processos/Uniao/uniao_com_adesivos.htm> Acessado em: 16/09/2019.

EXACTA, Retífica de Motores. **Recuperação de cabeçote: antes**. 2011. Disponível em: <<http://exactaretificademotores.blogspot.com/2011/05/antes.html>> Acesso em: 14 de dezembro de 2019.

ESAB. Revista Solução. **1904 – 2004: ESAB 100 anos**. Publicação institucional da ESAB Brasil. 2005. 63 p.

FERNANDES, V.K.; MARTENDAL, C.P. **Tecnologia de colagem na indústria automobilística**. 2016. Disponível em: < <http://engenheirodemateriais.com.br/2016/09/14/tecnologia-de-colagem-na-industria-automobilistica/> > Acesso em: 27 de junho de 2020.

FERRARI, Bruno. **Robô mata funcionário da Volkswagen na Alemanha**. Revista Época, 2015. Disponível em: < <https://epoca.globo.com/vida/experiencias-digitais/noticia/2015/07/robo-mata-funcionario-da-volkswagen-na-alemanh.html> > Acesso em: 7 de agosto de 2020.

FRAMEPOOL. **Brasagem manual por chama na indústria automotiva na década de 60**. Disponível em: < <https://www.framepool.com/en/home/> > Acesso em : 18 de março de 2020.

FRASLE. **Revestimento de Embreagem: saiba tudo sobre essa peça**. 2018. Disponível em: < <http://blog.fras-le.com/revestimento-de-embreagem/> > Acesso em: 16 de outubro de 2019.

FRONIUS. **CMT – Cold Metal Transfer: o processo de soldagem frio para a melhor qualidade**. Disponível em: < <https://www.fronius.com/pt-br/brasil/tecnologia-de-soldagem/competencias/processos-de-soldagem/cmt> > Acesso em: 12 de agosto de 2020.

FURLANETTO, Valdir. **Desenvolvimento e instrumentação de um cabeçote de solda a ponto por resistência elétrica para aplicação em condições industriais**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica – USP. Departamento de Eng. Mecatrônica e de Sistemas Mecânicos. São Paulo. 2014. 280 p.

GEDEON, S. A., SCHROCK, D., LAPOINTE, J. e EAGAR, T.W.. **"Metallurgical and process variables affecting the resistance spot weldability of galvanized sheet steels."** Society of Automotive Engineers, Inc., pp. 1-9. 1984.

GOOGLE. **Utilização do arco submerso na década de 1930**. Disponível em: < <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn%3AANd9GcSyEgi0FWbeVwogK-zoQjIQ6-WEz-AzaHr4QWoi3beNcBNISmIQBYf8kYhLJxSaNLRYu5-TN-ksHxLh2YqVrvEu46h0TV-b&usqp=CAU> > Acesso em: 18 de julho de 2020

HALLMAN, Carly. **A timeline of car history**. Disponível em: < <https://www.titlemax.com/articles/a-timeline-of-car-history/> > Acesso em: 19 dezembro de 2019.

HERRMANNULTRASCHALL. **Automotivo.** Disponível em: < <https://www.herrmannultraschall.com/pt-br/industrias/automotivo/> > Acesso em: 21 de dezembro de 2019.

HOLSLAG, Claude J. **Welding system.** Disponível em: < <https://patents.google.com/patent/US1354398A/en?inventor=Claude+J+Holslag&page=1> > Acesso em: 28 de março de 2020.

HOWARD, B. Cary. **Modern welding technology**, 4th edition, 1998. Published by Prentice-Hall. Disponível em: <https://www.millerwelds.com/resources/article-library/the-history-of-welding> Acessado em: 12 de dezembro de 2019.

INFOSOLDA. **Soldagem a LASER.** Disponível em: < <https://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/processos/190-soldagem-a-laser> > Acessado em: 04/09/2019.

ISHIKAWA, Márcio. **O aperfeiçoamento e o desenvolvimento de técnicas de união permitem mais alumínio nos automóveis.** Aluauto, 2015. Disponível em: < <http://aluauto.com.br/a-chave-para-o-uso-intensivo-do-aluminio-na-industria-automotiva/> > Acesso em: 26 de julho de 2020.

JAMO. **Brasagem.** Disponível em: < <https://www.jamo.ind.br/aplicacoes/brasagem> > Acesso em: 17 de dezembro de 2019.

JANOTAA M.; NEUMANNB, H. **Share of spot welding and other joining methods in automotive production.** Welding in the World. March 2008.

KILLFAB. **Exhaust Materials: Stainless vs. Titanium.** 2017. Disponível em: < <https://www.killfab.com/blogs/news/exhaust-materials-stainless-vs-titanium> > Acesso em: de 14 de dezembro de 2019.

LAPÃO, P.J.T.. **Soldadura por fricção linear de ligas de alumínio: influência das propriedades do material.** Dissertação de mestrado. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra, 2008. 68 p.

LARSSON, Johnny K. **Tecnologia de união de materiais na indústria automotiva.** ABS Soldagem. 2014.; published online April 8, 2014.

LÓGICA DA AMAZÔNIA. Disponível em: < <https://br.linkedin.com/company/logica-da-amazonia> > Acesso em: 15 de dezembro de 2019.

MARQUES, P.V.; MODENESI, P.J.; BRACARENSE, A.Q. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**. Belo Horizonte: UFMG, 2013.

MACHADO, I. G. (1996). **Soldagem & Técnicas Conexas: processos**. Porto Alegre: Ed. Pelo Autor, 477p.

MENDES, C.N.R.P. **Contribuição ao desenvolvimento de projeto de carrocerias automotivas utilizando adesivo estrutural para junção de chapas metálicas**. Dissertação de Mestrado (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005. 150 p.

MESCHUT, G.; JANZEN, V.; OLFERMANN, T. **Innovative and highly productive joining technologies for multi-material lightweight car body structures**. Journal. of Material Eng and Perform 23, 1515–1523 (2014).

METALS HANDBOOK. VOL. 6. **Welding, Brazing, And Soldering**. USA. 1983.

MIHAI; FLAVIU. **The evolution of vehicles**. 2012. Disponível em: < <https://autostiu.wordpress.com/2012/09/28/the-evolution-of-vehicles/> > Acesso em: 23 de abril de 2020.

MILLER. **Silicon bronze mig brazing basics**. Disponível em: < <https://www.millerwelds.com/resources/article-library/silicon-bronze-mig-brazing-basics> > Acesso em: 18 de dezembro de 2019.

MODENESI, P.J.; MARQUES, P.V. **Soldagem I: Introdução aos Processos de Soldagem**. Belo Horizonte: UFMG – Departamento de Engenharia Metalúrgica, 2006. Disponível em: <<http://www.ufmg.br/>> Acesso em: 11 de Setembro de 2019.

NETO, C.M.P.M. *et al.* **Adesivos-estruturais-em-automoveis**. FEUP, 2010. Disponível em: < <https://docplayer.com.br/47592839-Adesivos-estruturais-em-automoveis.html> > Acesso em: 27 de julho de 2020.

OLIVA, Jaime Tadeu. **A cidade sob quatro rodas. O automóvel particular como elemento constitutivo e constituidor da cidade de São Paulo: o espaço geográfico como componente social**. Tese (Doutorado em Geografia Humana) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

PARABRISAS. **Leonardo da Vinci tambien diseno autos**. Disponível em: < <https://parabrisas.perfi.com/noticias/novedades/leonardo-da-vinci-tambien-diseno-autos.phtml> > Acesso em : 21 de janeiro de 2020.

PIRES, J. N.; LOUREIRO, A.; BOLMSJÖ, G. **Welding Robots: technology, system issues and applications**. 1 ed. Springer, 2005, 200 p.

PROGRESS IS FINE. **General electric. Electric-welders 1921**. Disponível em: < <http://progress-is-fine.blogspot.com/2016/11/general-electric-electric-welders-1921.html> > Acesso em: 6 de março de 2020.

REDDIT. **Exploded view of a Ford Model T**. Disponível em: < https://www.reddit.com/r/interestingasfuck/comments/e69yx8/exploded_view_of_a_ford_model_t/ > Acesso em: 12 de março de 2020.

ROWLANDS, H.; ANTONY, J. **Application of design of experiments to a spotwelding process**. *Assembly Automation*. 2003. v. 23, n. 3, p.273–279

RUIZ, Douglas Criado. **Contribuição ao desenvolvimento de processos de montagem e soldagem de carrocerias automotivas**. Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005. 124 p.

RWMA. **Resistance Welding Manual: resistance welder manufacturing association**. U.S.A., 4Ed. 1989. 443 p.

SMITH, C.B. *et al* . **Friction stir welding in the automotive industry**. Tower Automotive — Technology Application, 3533 N 27th St, Milwaukee WI, 53216.

SPEEDWAY MOTORS. **Deluxe 1927 Ford Model T Bare Frame**. Disponível em: < https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fwww.speedwaymotors.com%2Fspeedway-Deluxe-1927-Ford-Model-T-Bare-Frame-Assembly%2C37087.html&psig=AOvVaw3f5uVEf0Ug8SDdOFN5Y0tH&ust=1593209939285000&source=images&cd=vfe&ved=0CAIQjRxqFwoTCLDGh9b_neoCFQAAAAAdAAA AABAD > Acesso em: 15 de fevereiro de 2020.

TANG, H.; HOU, W.; HU, S. J.; ZHANG, H. Y.; FENG, Z. e KIMCHI, M. (2003). **"Influence of welding machine mechanical characteristics on the resistance spot welding process and weld quality."** *Welding Journal*, May (2003).

TECNOWELDING. **Conheça como funciona o processo de soldagem por costura**. Disponível em: < <http://www.tecnowelding.ind.br/conheca-como-funciona-o-processo-de-soldagem-por-costura/> > Acesso em: 17 de agosto de 2020.

WELDINGHISTORY. **Welding timeline**. Disponível em: < <http://weldinghistory.org/whfolder/folder/wh1900.html> > Acesso em: 11 de janeiro de 2020.

WIKIMEDIA. **Patent Electrogefest.** Disponível em:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b9/Patent_Electrogefest.jpg > Acesso em
13 de fevereiro de 2020.

WU, K. C. (1968). "**Electrode indentation criterion for resistance spot welding**". *Welding Journal*. Vol. 47, Nº 10.