

N. CLASS.	M 677.52
CUTTER	G 354 a
ANO/EDIÇÃO	2015

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
GILBERTO DOS SANTOS GERALDO

**AVALIAÇÃO DA SOLDAGEM DO ALUMÍNIO SÉRIE 5000 E 5052 PELO
PROCESSO GTAW UTILIZANDO OS ELETRODOS DE TUNGSTÊNIO PURO E O
COM 2% DE LANTÂNIO PARA A TRANSFERÊNCIA DO ARCO ELÉTRICO
DETERMINANDO AS MELHORES CARACTERÍSTICAS PARA A
COALESCÊNCIA**

Varginha
2015

GILBERTO DOS SANTOS GERALDO

**AVALIAÇÃO DA SOLDAGEM DO ALUMÍNIO SÉRIE 5000 E 5052 PELO
PROCESSO GTAW UTILIZANDO OS ELETRODOS DE TUNGSTÊNIO PURO E O
COM 2% DE LANTÂNIO PARA A TRANSFERÊNCIA DO ARCO ELÉTRICO
DETERMINANDO AS MELHORES CARACTERÍSTICAS PARA A
COALESCÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do centro Universitário do Sul de Minas – UNIS, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, sob orientação do Prof. Erik Vitor da Silva.

Varginha

2015

GILBERTO DOS SANTOS GERALDO

**AVALIAÇÃO DA SOLDAGEM DO ALUMÍNIO SÉRIE 5000 E 5052 PELO
PROCESSO GTAW UTILIZANDO OS ELETRODOS DE TUNGSTÊNIO PURO E O
COM 2% DE LANTÂNIO PARA A TRANSFERÊNCIA DO ARCO ELÉTRICO
DETERMINANDO AS MELHORES CARACTERÍSTICAS PARA A
COALESCÊNCIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em ____ / ____ / _____

OBS.:

Dedico o este trabalho aos que seguraram minha mão, presentearam-me com abraços ou palavras que me motivaram, que me ofereceram confiança, dedicação, paciência e compreensão — estando presentes ou se fazendo como tal apesar da distância.

Ofereço a vocês minha eterna gratidão.

AGRADECIMENTOS

Deus obrigado, por este momento grandioso de luz única. Pelas belezas que deixei de ver, pelas palavras que me recusei a escutar, e por tudo que vi, ouvi e senti. Pelas vezes que levantei, e por quando caí. Por tudo que acertei, e pelos momentos que falhei. Obrigado, pelos momentos de dúvida e pelos problemas solucionados. Por que tu estiveste comigo nas horas frias e nas mais calorosas, nunca me deixando só. Agradeço principalmente pela liberdade de pensar, de desejar, de querer e de optar. De não ser nada, mas de poder ter me tornado quem realmente sou.... A Ti, Senhor, dedico essa etapa de minha vida, confiando que continuarás a conduzir meus passos em direção à Tua vontade perfeita e soberana.

Obrigado por tudo!

Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.

Charles Chaplin

RESUMO

O trabalho explora o universo da soldagem do alumínio com o processo GTAW para a união, demonstrando as melhores características para a coalescência do alumínio da série 5000 e 5052, os quase são materiais que vem ganhando o meio industrial nos últimos anos devido as suas características físicas, mas que apesar das vantagens destas ligas de alumínio, algumas descontinuidades na solda como, por exemplo, as faltas de fusão ou penetração, aparecem nos processos de soldagem tornando este processo complexo exigindo parâmetros e métodos específicos os quais evoluem cada vez mais e os soldadores necessitam de habilidades para o desenvolvimento da soldagem e nem sempre encontram os materiais de apoios necessários, portando, visando garantir a qualidade da junta soldada é importante que se tenha materiais de apoio como descritivos, ilustrações, exemplificações e tabelas que recomendam parâmetros e especificações variadas de procedimentos de soldagem das ligas de alumínio para que a solda apresente descontinuidades aceitáveis.

Este trabalho reúne as informações a respeito do alumínio e suas classificações, a soldagem GTAW e todas as características de soldagem básica e técnicas avançadas que favorecem a qualidade da solda, segurança na soldagem e também resultado de teste realizados com os parâmetros apresentados na soldagem, provando que seguindo todo o procedimento se conseguiu excelente qualidade na solda.

Palavras-chave: Alumínio. Soldagem. Parâmetros. Qualidade. Métodos

ABSTRACT

The work explores the world of aluminum welding with GTAW process for the union, showing the best features for aluminum coalescence of the series 5000 and 5052, nearly are materials that has gained the industrial environment in recent years due to their physical characteristics but despite the advantages of these aluminum alloys, some discontinuities in the weld as, for example, fusion faults or penetration appear in welding processes making this complex process requiring specific parameters and methods which evolve more and welders. They need skills to the development of welding and do not always find the materials necessary support, bearing in order to ensure the quality of the weld is important to have support materials such as descriptions, illustrations, exemplification and tables which recommend various parameters and specifications welding procedures aluminum alloys so that welding have acceptable discontinuities.

This work gathers information about aluminum and its ratings, the GTAW welding and all basic welding characteristics and advanced techniques that favor the weld quality, safety in welding and also test results performed with the parameters shown in welding, proving that through the whole procedure had been achieved excellent quality in welding.

Keywords: *Aluminum. Welding. Parameters. Quality. Methods*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 ALUMÍNIO.....	13
2.1 Propriedades do alumínio	13
2.1.1 Propriedades físicas	13
2.1.2 Propriedades químicas.....	15
2.1.3 Propriedades mecânicas.....	16
2.2 Soldabilidade do alumínio.....	16
2.3 Classificação do alumínio e ligas trabalháveis	17
2.3.1 Ligas Trabalháveis	18
2.3.2 Ligas Fundidas	19
2.4 Liga de alumínio 5000 e 5052.....	20
2.4.1 Elemento de liga – Magnésio.....	20
2.4.2 Propriedades das ligas de alumínio 5000 e 5052.....	20
3 METALURGIA DA SOLDAGEM.....	23
3.1 Soldagem GTAW (TIG).....	23
3.1.1 Equipamentos de soldagem.....	24
3.1.2 Fontes para soldagem GTAW.....	26
3.1.3 Tochas para soldagem GTAW.....	26
3.1.4 Fontes de gás de proteção para soldagem GTAW.....	29
3.1.5 Cabos elétricos e condutores para soldagem GTAW.....	31
3.1.6 Outros componentes e dispositivos para soldagem GTAW.....	31
3.2 Consumíveis.....	31
3.3 Eletrodos.....	32
3.4 Metais de adição para a soldagem do Alumínio.....	40
3.4.1 Ligas 5356, 5183 e 5556.....	42
3.4.2 Ligas 4043, 4643, 4047 e 4145.....	42
4 TÉCNICAS OPERATÓRIAS.....	44
4.1 Estocagem e Manuseio do alumínio.....	44
4.2 Preparação do metal para soldagem.....	45
4.2.1 Modos de preparação das bordas.....	47

4.2.2 Técnicas de limpeza do alumínio para a soldagem.....	47
4.2.3 Limpeza química.....	48
4.2.4 Remoção da umidade do alumínio.....	48
4.3 Pré-Aquecimento.....	48
4.4 Escovamento do alumínio.....	49
4.5 Montagem da junta.....	50
4.5.1 Ponteamento da junta.....	51
4.6 Uso de Cobre-junta (“Backing”).....	51
4.7 Execução do cordão de solda.....	52
4.7.1 Operações de interpasse.....	53
4.7.2 Tecimento na soldagem.....	54
4.8 Técnicas de soldagem GTAW em alumínio.....	54
5 EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO PARA SOLDAGEM.....	59
6 METODOLOGIA.....	60
7 RESULTADOS E DISCUSSÃO	61
8 CONCLUSÃO.....	63
9 REFERÊNCIAS.....	65
10 ANEXO A.....	66
10 ANEXO B.....	67
11 APENDICE A.....	69

1 INTRODUÇÃO

Em qualquer lugar, independente da época ou área de atuação, as palavras desenvolvimento industrial ou tecnologia são discutidas como metas, estas duas palavras não podem ser utilizadas à parte uma da outra. Ambas estarão sempre juntas em qualquer época, em qualquer lugar, devido a sua correlação. Desenvolvimento pressupõe evolução, tecnologia pressupõe conhecimento adquirido. Conhecimento, por sua vez, nos lembra livros. É devido a carência de literatura técnica especializada em desenvolvimento tecnológico de materiais e soldagens que engenheiros, projetistas e técnicos tanto da área de execução e fabricação de produtos que envolvem soldagens se reúnem para discutir informações em debates e documentos técnicos para reagrupar informações sobre diversas tecnologias de soldas (ALCAN, 1993).

Para obter um resultado completo de agrupamento de informações é necessário dedicação e grande esforço para a diminuição do atraso tecnológico de literaturas. A criação de um centro de tecnologia de soldagem em 1986 foi um primeiro passo para obter um resultado, porém a evolução dos desenvolvimentos e tecnologias vem ainda sendo maior que o agrupamento das informações e dos procedimentos de trabalhos, isto por ser tão complexo o contexto que envolve a soldagem (ALCAN, 1993).

A soldagem do alumínio, consolidada nos anos 40 nos Estados Unidos e Europa, esteve praticamente desconhecida no Brasil durante muitos anos devido a ideia que se pregava que não era possível soldar o alumínio, e isso permaneceu por longos anos em nosso meio industrial. Até que as ligas de alumínio foi ganhando destaque devido a suas características físicas. Sua maior aplicação ocorreu após a década de 70. Graças as reuniões, publicações de tecnologias, palestras técnicas e treinamentos de supervisores, engenheiros e soldadores sobre procedimentos de soldagem do alumínio e suas ligas, que favoreceu na diminuição do atraso tecnológico e na ampliação do conhecimento dos engenheiros, projetistas e soldadores nacionais (ALCAN, 1993).

Este trabalho é dedicado e oferecido a indústria brasileira e todos que estão atuando na área de soldagem com intuito de atualizar o seu conhecimento sobre soldagem do alumínio e suas ligas, tendo foco na soldagem do alumínio da série 5XXX segundo norma brasileira NBR 6834 : 2006 – Alumínio e suas ligas – classificação da composição química, em especial a soldagem no alumínio 5000 e 5052, que são ligas de alumínio e magnésio, as quais são materiais de grande qualidade e resistência na atualidade industrial.

Este trabalho foi produzido para servir como um manual básico no ensino de todos os aspectos da soldagem do alumínio, incluindo tabelas de parâmetros e conceitos referente a soldagem, de tal forma que se possa obter as máximas vantagens das propriedades inerentes a este metal, mesmo após a execução da coalescência do mesmo. Sendo dedicado para todos os níveis de pessoal industrial, incluindo soldadores, supervisores, instrutores, projetistas, engenheiros e inspetores de soldagem.

Este trabalho contém a teoria básica e auxilia no trabalho prático, fornecendo instruções adequadas para o pessoal envolvido com a produção de componentes soldados. Particular atenção é dada aos processos de soldagem GTAW, soldagem por arco elétrico sob atmosfera inerte com uso de eletrodos não consumíveis de tungstênio, processo mais utilizado em todo o mundo para a soldagem de alumínio (ALCAN, 1993).

Justificativa do trabalho: Soldar, como tudo na vida, requer vivência prática e teórica. Para aprender, os soldadores devem soldar, os supervisores devem testar e inspecionar soldas reais, os engenheiros devem estabelecer práticas de trabalho e os projetistas devem resolver problemas reais de projeto de juntas soldadas. E toda prática desenvolvida é sempre registrada, para auxiliar em futuras práticas e análises de estudos, como a prática de soldar envolve muitos itens, e abre um leque muito grande no mercado industrial, nem sempre se consegue obter todas informações que precisa em um único material de pesquisa e apoio.

Este trabalho permite que você possa produzir componentes soldados de alta qualidade ao menor custo e lhe dar uma ideia a respeito do que realmente deve ser feito para soldar o alumínio e quando se fala em menor custo, temos que levar em consideração que o custo é relativo ao procedimento correto de soldagem, de forma segura e garantindo a resistência e a qualidade da solda, algumas vezes veremos que o custo pode ser alto, isso devido ao fato de todos cuidados que temos que considerar, mais mesmo assim poderia ser mais alto ainda se não fosse levado em consideração todos itens apresentados neste trabalho (ALCAN, 1993).

2 ALUMÍNIO

Conforme cada material cada material tem uma finalidade própria à caráter de aplicabilidade devido suas características principais, as propriedades físicas, químicas e mecânicas mais importantes do alumínio e suas ligas serão relacionadas seguinte e discutidas as influências de cada uma delas no item soldabilidade do alumínio. A tabela 1, mostra de maneira resumida e comparativa, algumas propriedades físicas dos principais materiais utilizados na área industrial para que seja feito uma análise prévia dos materiais e suas principais diferenças na utilização prática final (ALCAN, 1993).

Tabela 1 – Comparativo de materiais em análise das propriedades físicas.

Propriedades	Unidade	Materiais					
		Alumínio	Cobre	Bronze (65/35)	Aço ao carbono	Aço inox (304)	Magnésio
Densidade	Kg/m ³	2700	8925	8430	7800	7880	1740
Cond. Elétrica	% I.A.C.S	62	100	27	10	2	38
Cond. Térmica a 25 °C	W/(m.°C)	222	394	117	46	21	159
Coefficiente de expansão linear	1/°C	23,6 x 10 ⁻⁶	16,5 x 10 ⁻⁶	20,3 x 10 ⁻⁶	12,6 x 10 ⁻⁶	16,2 x 10 ⁻⁶	25,8 x 10 ⁻⁶
Calor Específico médio 0 – 100 °C	J/(Kg.°C)	940	376	368	496	490	1022
Calor latente de fusão	Kj/Kg	388	212	-	272	-	372
Ponto de fusão	°C	660	1083	930	1350	1426	651
Módulo de elasticidade	MPa	69 x 10 ³	110 x 10 ³	103 x 10 ³	200 x 10 ³	200 x 10 ³	45 x 10 ³

Fonte: ALCAN, 1993

2.1 Propriedades do alumínio

2.1.1 Propriedades físicas.

Densidade - É a característica ou particularidade daquilo que é denso; compacto. (Dicionário, 2013).

A densidade é a mais conhecida e importante das características físicas do alumínio do ponto de vista da engenharia da construção. Como mostra a tabela 1, a densidade do alumínio é a menor de todos os metais listados, exceto o magnésio. Esse baixo valor possibilita que o alumínio possa competir com outros metais, em base de peso, mesmo quando estes apresentam melhores propriedades em base volumétrica (ALCAN, 1993).

Condutividade elétrica - É usada para especificar o carácter eléctrico de um material (Dicionário, 2013).

Ela indica a facilidade com a qual um material é capaz de conduzir uma corrente eléctrica.

Dos materiais apresentados o cobre é o melhor condutor eléctrico o alumínio comercialmente puro é o segundo melhor, com 60% do valor do padrão internacional do cobre (IACS). Ainda assim, apesar de um bom condutor, o alumínio precisa ter 1,67 vezes da área da secção transversal de um condutor equivalente de cobre, sendo que seu peso é somente a metade do valor deste último, devido a densidade ser aproximadamente um terço se comparada com a do cobre mais isso não quer dizer que o alumínio é indevido ao trabalho que envolve condução de eletricidade (ALCAN, 1993).

Condutividade térmica - Também é uma das características mais altas encontradas entre os metais apresentados.

Podemos ver na Tabela 1 que a condutividade térmica do alumínio é metade se comparar com o cobre e aproximadamente cinco vezes mais que a do aço, o qual valoriza na seleção do alumínio em relação aos outros materiais. O efeito desta propriedade na soldagem é muito importante e é discutida mais adiante sob o título “Soldabilidade” (ALCAN, 1993).

Ponto de Fusão - O ponto de fusão do alumínio pode se tornar menor quando elementos de liga são adicionados. O efeito desta propriedade na soldabilidade é discutido a seguir sob o título “Soldabilidade” (ALCAN, 1993).

Módulo de Elasticidade - O módulo de elasticidade é determinado pela força necessária para produzir uma dada deformação não permanente em um material (regime elástico). Define-se como sendo a razão da tensão por unidade de deformação. A Tabela 1 mostra que o módulo de elasticidade do aço é três vezes maior que o alumínio e isso faz com que o aço seja ainda um dos materiais mais aplicados na indústria (ALCAN, 1993).

Coefficiente de Expansão Linear – Define-se como o acréscimo de comprimento verificado por um determinado material para cada elevação no grau de temperatura. Como mostra a Tabela 1, o coeficiente de expansão linear do alumínio é aproximadamente duas vezes o do aço. O efeito desta propriedade na soldagem do alumínio é discutido no parágrafo sob o título “Soldabilidade” (ALCAN, 1993).

Calor Específico e Calor Latente de Fusão - O calor específico de um material é a medida da quantidade de calor requerida para elevar sua temperatura de um corpo.

O calor latente de fusão é o calor absorvido quando uma substância passa do estado sólido para o estado líquido sem acréscimo de temperatura. No alumínio, o calor latente é relativamente pequeno comparado a outros fatores e seu efeito sobre a soldagem por fusão do alumínio é usualmente desconsiderado (ALCAN, 1993).

2.1.2 Propriedades químicas.

A composição química é o que define cada material podemos dizer que é o que oferece características específicas de cada material. Além da composição química básica de cada material existe também a composição química complementar ou auxiliar, a qual faz parte do material de forma indireta, devido ao fato de as vezes ser insignificante, mais algumas vezes estas composições tem uma suma relevância no material, por exemplo:

É característica do alumínio e suas ligas, a formação natural de um filme de óxido (Al_2O_3) sobre a sua superfície. A espessura do óxido logo no início de sua formação é cerca de 15 Å (Angstrom = $1,5 \times 10^{-10}\text{m}$), mas a taxa pode ter um acréscimo posterior e variar a uma espessura de óxido normal em torno de 25 – 50 Å dependendo da espessura do metal e do ambiente de atuação. Embora a camada de óxido seja extremamente fina, ela é suficiente para proteger o metal contra o ataque dos mais diversos meios corrosivos. Isto justifica a excelente resistência à corrosão apresentada pelo alumínio e suas ligas (ALCAN, 1993).

Tentar soldar o alumínio sem antes remover o filme de óxido pode trazer vários defeitos na solda, sendo a principal a dificuldade dos metais se unirem (fundir), pois o filme de óxido é tenaz, aderente, impermeável e funde somente a 2052° C (cerca de três vezes a temperatura de fusão do alumínio) o que resulta na fusão do metal bem antes de o óxido fundir-se e então a coalescência pode não ocorrer. Além disso, a formação de uma nova camada durante a soldagem deve ser evitada quando pretende-se produzir soldas a níveis satisfatórios. Nos processos de soldagem a arco metálico com proteção de gás inerte, o óxido é removido pela

ação do arco elétrico e a formação de um novo filme é evitada pela ação do campo de gás protetor (ALCAN, 1993).

Segundo ALCAN (1993, p. 1-2) O óxido de alumínio possui ainda outras propriedades importantes, sendo elas:

- O óxido é muito duro, sendo o material de maior dureza depois do diamante. Por esta razão, óxido de alumínio é normalmente empregado como matéria prima abrasiva na fabricação de rebolos de esmeril.
- A superfície do óxido de alumínio é bem porosa, possibilitando a retenção de umidade ou contaminantes os quais podem ocasionar porosidade na solda. Isto é muito comum nas ligas contendo magnésio, porque o óxido de magnésio ou de magnésio-alumínio se hidrata com facilidade. Então é prática usual remover o óxido da superfície do metal, com uma escova, somente momentos antes da soldagem.

2.1.3 Propriedades mecânicas

O alumínio puro é um metal que apresenta uma relação em resistência mecânica e ductilidade inversamente proporcional, ou seja, a sua resistência mecânica é baixa, mais sua ductilidade é alta. Entretanto, através de adição de um ou mais elementos de liga, a suas características podem ser alteradas, permitindo aumentar a resistência e manter os valores de ductilidade bastante aceitáveis (ALCAN, 1993).

Em temperaturas elevadas o alumínio também perde sua resistência como a maioria dos metais; já a resistência do alumínio em baixas temperaturas é aumentada sem perda de ductilidade, sendo esta a razão do seu uso cada vez mais crescente em aplicações criogênicas.

O efeito das características do alumínio e suas possíveis alterações após a soldagem serão tratadas em detalhes no desenvolvimento deste trabalho (ALCAN, 1993).

2.2 Soldabilidade do alumínio

Para uma melhor compreensão dos efeitos da soldabilidade nas propriedades físicas do alumínio, vamos comparar o alumínio com o aço para entendimento.

A condutividade térmica do alumínio é quase cinco vezes maior do que do aço. Isto significa que o alumínio necessita de um fornecimento de calor cerca de cinco vezes a mais que o requerido para o aço, para uma mesma massa aumentar sua temperatura. Na prática isto significa que uma fonte de calor com maior intensidade para que a soldagem do alumínio será mais bem-sucedida do que para a soldagem do aço (ALCAN, 1993).

Muitos confundem, devido ao ponto de fusão do alumínio ser menor do que o aço, pode parecer que o calor requerido para soldar o alumínio seja menor que para soldar o aço.

Entretanto, a alta condutividade térmica do alumínio compensa esta diferença entre as temperaturas de fusão; e, de fato, o alumínio sim necessita de mais calor do que o aço para ser soldado (ALCAN, 1993).

Uma vantagem da alta condutividade térmica do alumínio, sob o ponto de vista do soldador, é que a ela proporciona uma rápida solidificação da poça de fusão, tornando a soldagem do alumínio mais rápida que a do aço. Porém se não forem utilizadas as velocidades de trabalhos mais altas e constantes, haverá uma grande probabilidade de o aporte térmico causar consideráveis distorções na chapa durante a soldagem devido à alta condutividade térmica, o alto coeficiente de expansão linear e o calor das fontes mais intensas (ALCAN, 1993).

2.3 Classificação do alumínio e ligas trabalháveis

Até aqui foi apresentado as principais características do alumínio comercial puro, entretanto, o alumínio puro apresenta baixa resistência mecânica para aplicações estruturais e, dessa forma, a maioria dos produtos em alumínio são obtidos em conjunto com uma liga, a fim de atingir as propriedades desejadas.

Os principais elementos de ligas para o alumínio são: Cobre (Cu), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Silício (Si) e Zinco (Zn). Outros elementos também são adicionados ou já estão presentes no alumínio em quantidades menores, agindo como refinadores de grão ou para produzir propriedades especiais. Um grupo adicional de elementos indesejáveis, encontrados nas ligas de alumínio em quantidades muito pequena, conhecido como escória (ALCAN, 1993).

Devido a infinidade de ligas de alumínio que existem, foi desenvolvida uma classificação dessas ligas pela “Aluminum Association (AA)”, que atualmente, é seguida por toda América do Norte e por muitos outros países do mundo. No Brasil, também temos uma norma interna que classifica as ligas de alumínio, é a norma reguladora “**NBR 6834**”, que é compatível com a publicada pela “Aluminum Association” (ALCAN, 1993).

Dependendo de como estas ligas são produzidas, as ligas de alumínio são divididas em dois grandes grupos:

- Ligas Fundidas
- Ligas Trabalháveis

2.3.1 Ligas Trabalháveis

As ligas trabalháveis são aquelas produzidas através de transformações de um semimanufaturado (lâmina, chapa, perfil, vergalhão, etc.) através da transformação mecânica a frio ou a quente de um tarugo ou placa produzida pela solidificação do metal líquido (ALCAN, 1993).

Segundo a norma “AA” para identificar as ligas de alumínio trabalháveis utiliza-se um sistema de números de quatro dígitos. O primeiro da designação serve para indicar o grupo da liga de acordo com o elemento químico da liga principal que comparece em maior teor na composição da liga, como segue na tabela 2 (ALCAN, 1993):

Tabela 2 – Designação das Ligas Trabalháveis por grupos

LIGAS ABNT (NBR 6834)	PRINCIPAL ELEMENTO QUÍMICO DA LIGA
1 XXX	Alumínio não ligado de no mínimo 99,00 % de pureza
2 XXX	Cobre
3 XXX	Manganês
4 XXX	Silício
5 XXX	Magnésio
6 XXX	Magnésio e Silício
7 XXX	Zinco
8 XXX	Outros elementos
9 XXX	Série não utilizada

Fonte: ALCAN, 1993

Os dois últimos dígitos identificam a pureza do alumínio e também a porcentagem de liga. O segundo dígito indica modificações na liga original ou nos limites de impureza. O algarismo 0 (zero) indica o alumínio não-ligado que contém impurezas em seus limites naturais ou que não houve um controle especial, e os algarismos de 1 a 9 indicam que houve controle especial de um ou mais elementos presentes como impurezas (ALCAN, 1993).

Exemplos:

1080 : Alumínio não-ligado com 99,80% de pureza.

5005 : Alumínio Magnésio com 99,05 % de pureza (0,95% de magnésio)

5052 : Alumínio Magnésio com 99,52 % de pureza (0,48% de magnésio)

2.3.2 Ligas Fundidas

As ligas Fundidas são aquelas cujos produtos são obtidos através da fundição do metal líquido em um molde para adquirir a forma desejada da peça.

Da mesma maneira que as ligas trabalháveis, também se utiliza um sistema de quatro dígitos para identificar o alumínio na forma de fundidos com diferença na separação dos componentes em análise com um ponto. Sendo o primeiro dígito indicativo do grupo da liga de alumínio, como mostrado na tabela 3 abaixo (ALCAN, 1993):

Tabela 3 – Designação das ligas Fundidas

LIGAS ABNT (NBR 6834)	PRINCIPAL ELEMENTO QUÍMICO DA LIGA
1 XX.X	Alumínio não ligado de no mínimo 99,00 % de pureza
2 XX.X	Cobre
3 XX.X	Silício com adições de Cobre e/ou Magnésio
4 XX.X	Silício
5 XX.X	Magnésio
6 XX.X	Série não utilizada
7 XX.X	Zinco
8 XX.X	Estanho
9 XX.X	Outros elementos

Fonte: ALCAN, 1993

Os dois dígitos seguintes identificam a pureza do alumínio e a porcentagem da liga. O último dígito que está separado dos outros por um ponto indica que o produto está sob a forma de peças ou lingotes, sendo 0 (zero) para peças fundidas e 1 (um) para lingotes, conforme podemos acompanhar no exemplo a seguir (ALCAN, 1993):

Exemplo:

450.0 : Alumínio Silício com 99,50 % de pureza (50% de silício), sob forma de peça fundida.

2.4 Liga de alumínio 5000 e 5052

Este trabalho está desenvolvido com foco na soldagem do alumínio da série 5XXX segundo norma brasileira NBR 6834, em especial a soldagem no alumínio 5000 e 5052, que são ligas de alumínio e magnésio, as quais são materiais de grande qualidade e resistência na atualidade industrial.

2.4.1 Elemento de liga – Magnésio

Designamos por liga de alumínio uma solução sólida obtida da mistura de um ou mais elementos de liga no alumínio em estado sólido.

O magnésio sendo a liga principal em análise combinado com o silício produz uma família de ligas com boa resistência mecânica, plasticidade e extrudabilidade. Esta liga é um dos elementos mais eficazes e largamente empregado na formação de ligas de alumínio devido as características atribuídas ao metal. No entanto as ligas da série 5XXX podem ser não apenas a base de magnésio como também de magnésio e manganês que vai ainda aumentar mais sua resistência mecânica (ALCAN, 1993).

Com base que as ligas de alumínio da série 1XXX até a 5XXX são as ligas que não podem ser tratadas termicamente e as ligas da série 7XXX até 9XXX são as que podem ser tratadas termicamente. As ligas da série 5XXX são as que apresentam as maiores resistências entre as ligas não-tratáveis termicamente, e por isso são de grande importância para aplicações estruturais e construção naval. Essas ligas são fabricadas principalmente na forma de chapas e lâminas, para conformação posterior. E, entre os diversos campos de aplicação, elas destinam-se em particular à área de transporte, como, por exemplo, na fabricação de vagões ferroviários, embarcações, tanques rodoviários, veículos militares, carrocerias de ônibus e furgões e outros (ALCAN, 1993).

2.4.2 Propriedades das ligas de alumínio 5000 e 5052

A série de tabelas que se seguem fornece um panorama geral das ligas de alumínio 5005 (em análise da liga 5000) e 5052, em termos de suas propriedades, assim como fabricação e aplicações em estruturas. As legendas das tabelas são listadas a seguir para ajudar a encontrar a informação desejada (ALCAN, 1993).

Tabela 4 – Composição Química e aplicações das ligas trabalháveis não-tratáveis termicamente

Liga	COMPOSIÇÃO NOMINAL Elemento de liga - Mg - % em peso	APLICAÇÕES TÍPICAS
5005	0,8	Condutor elétrico; Caixilharia; Carrocerias de ônibus e furgões; Utensílios domésticos;
5052	2,5	Utilizadas onde se requer resistência mecânica; Tanques para armazenamento; Barcos; Uso geral em estamperia; Carrocerias de ônibus e furgões; Persianas

Fonte: ALCAN, 1993

Tabela 5 – Soldabilidade das ligas trabalháveis não-tratáveis termicamente

Processo 1, 2, 3				
Liga	SAMG/SATG	SPR/SCR	B	SB
5005	A	A	B	B
5052	A	A	C	C

NOTAS:

- SAMG:** Soldagem a arco metálico com atmosfera gasosa - "GMAW (segundo AWS)"

SATG: Soldagem a arco com tungstênio com atmosfera gasosa - "GTAW (segundo AWS)"

SPR: Soldagem a ponto por resistência - "RSW (segundo AWS)"

SCR: Soldagem por costura por resistência - "RSEW (segundo AWS)"

B: Brasagem - "B (segundo AWS)"

SB: Solda branda com fluxo - "OFW (segundo AWS)"
- Classificação baseada nas temperaturas de maior facilidade de união;

A: A união pelo processo é fácil

B: A união pelo processo é possível para a maioria das aplicações, podendo requerer técnicas especiais ou testes preliminares para estabelecer o procedimento e/ou desempenho.

C: A união pelo processo é difícil

X: A união pelo processo não é recomendada
- A união de todas as ligas pode ser feita através de:

Soldagem ultrasônica, colagem com adesivos ou fixadas mecanicamente.

Fonte: ALCAN, 1993

Tabela 6 – Propriedades das ligas de alumínio trabalháveis não-tratáveis termicamente

PROPRIEDADES FÍSICAS						PROPRIEDADES MECÂNICAS					
LIGA	Densidade	Temperatura de fusão	Condut. Térmica	Condut. Elétrica	Têmpera	Limite de resistência	Limite de escoamento	Along. % em 50 mm 1,6	Resist. Fadiga	Resist. Cisalhamento	Dureza Brinell
-	Kg/m ³	°C	W/m . °C	% I.A.C.S	-	MPa	MPa	-	MPa	MPa	500Kg
5005	2715	631-654	198	52	O	124	41	25	-	76	28
					H34	159	138	8	-	96	41
					H38	200	186	5	-	110	51
5052	2687	607-648	137	35	O	193	90	25	110	124	47
					H34	262	214	10	124	145	68
					H38	290	255	7	138	165	77

Fonte: ALCAN, 1993

3 METALURGIA DA SOLDAGEM

A soldagem é o mais importante processo de união de metais utilizado industrialmente.

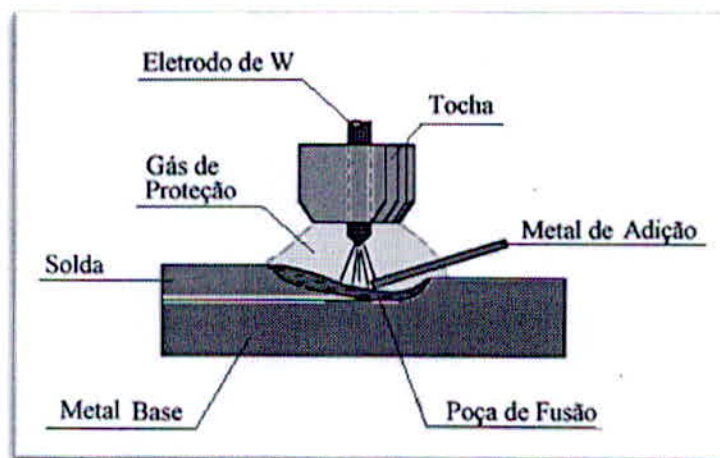
Por definição do termo soldagem, segundo Paulo Villani (2009, p. 18) que nos traz a descrição adotada pela Associação Americana de Soldagem (American Welding Society – AWS), temos:

“Processo de união de matérias usado para obter a coalescência (união) localizada de metais e não metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou materiais de adição, assegurando na junta a continuidade das propriedades físicas e químicas”.

3.1 Soldagem GTAW (TIG)

A soldagem a arco elétrico com eletrodo de tungstênio e utilização de proteção gasosa (Gas Tungsten Arc Welding) – GTAW é um processo no qual a coalescência das peças metálicas é produzida através do aquecimento e fusão destas por meio de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de tungstênio, não consumível, e as peças a unir. Sendo que a proteção da poça de fusão e do arco elétrico, contra a contaminação do ar atmosférico, é feita por uma nuvem de gás inerte ou mistura de gases inertes que atuam no processo. A soldagem pode ou não ser feita com adição de metal para aumentar a resistência da solda e, quando usada, é feita diretamente na poça de fusão. A figura 1 seguinte ilustra o processo, que também é conhecido por TIG (Tungsten Inert Gas), Sigla adotada no Brasil (MARQUES, 2009).

Figura 1 – Soldagem TIG (esquemática)



Fonte: MARQUES, 2009 - Adaptado

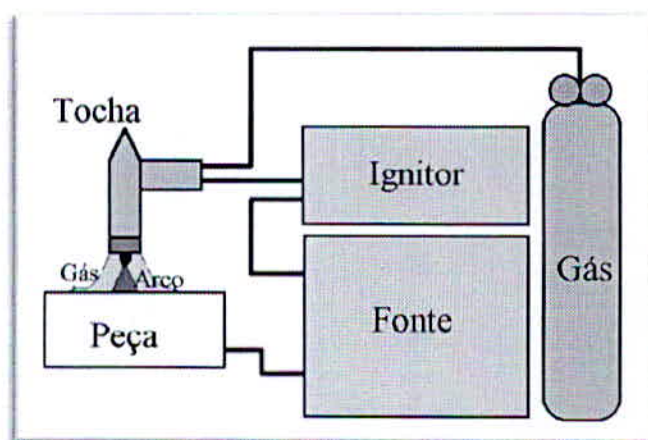
Este processo é aplicável à maioria dos metais e suas ligas, com excelente grau de qualidade, recomendado para uma ampla faixa de espessuras. Entretanto, em virtude de seu custo relativamente elevado, é usado principalmente na soldagem de metais não ferrosos, como ligas de alumínio, de magnésio, de titânio, e aços inoxidáveis, na união de peças de pequenas espessuras e no passe de raiz de tubulações, pois a resistência mecânica da solda neste processo é muito maior que quando comparado com outros materiais devido a vários fatores a ser tratados a seguir (MARQUES, 2009).

3.1.1 Equipamentos de soldagem

O processo constitui de um equipamento básico para a soldagem TIG, consiste de uma fonte de energia, uma tocha de soldagem apropriada, uma fonte de gás protetor, um dispositivo para abertura de arco, cabos e mangueiras. Os quais serão detalhados nos itens subsequentes do trabalho. Diversos equipamentos auxiliares podem ainda ser usados na soldagem manual ou mecanizada, para permitir melhor controle do processo, maior produtividade, facilidade de operação etc. (MARQUES, 2009).

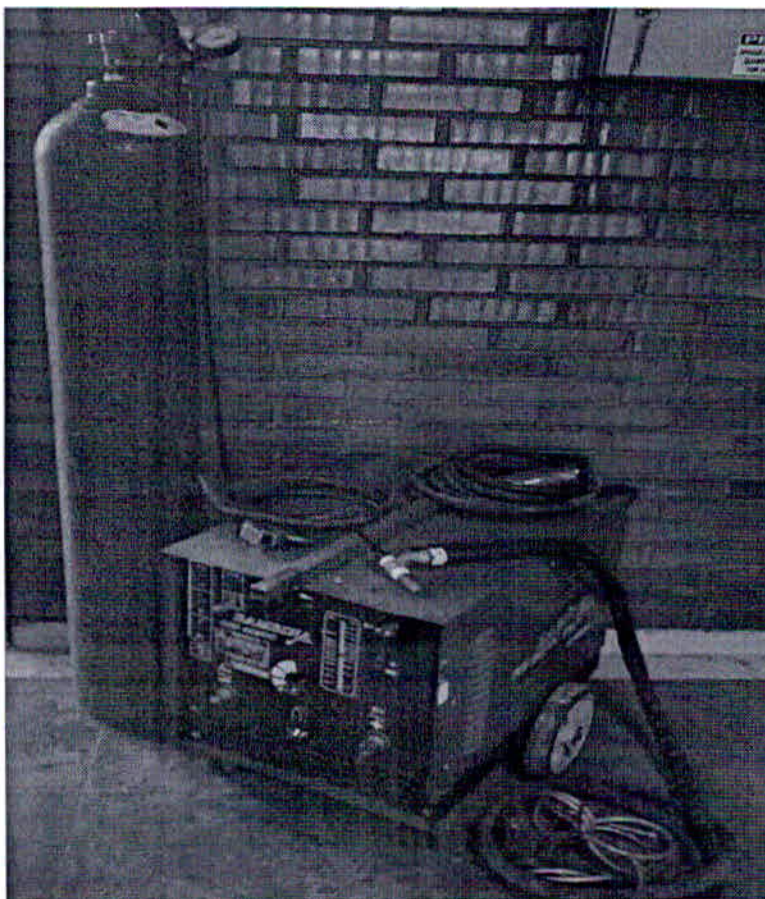
Para uma análise introdutória do processo, será apresentado a seguir algumas imagens referente o processo, sendo a figura 2 que nos mostra um esquema simples do equipamento básico de soldagem GTAW, a Figura 3-a nos mostra uma fonte eletrônica de uso industrial e a figura 3-b mostra os componentes que compõe o processo de soldagem, lembrando que os equipamentos a ser apresentados podem sofrer pequenas alterações construtivas conforme execução de processo (MARQUES, 2009).

Figura 2 – Esquema básico de equipamento de soldagem GTAW.



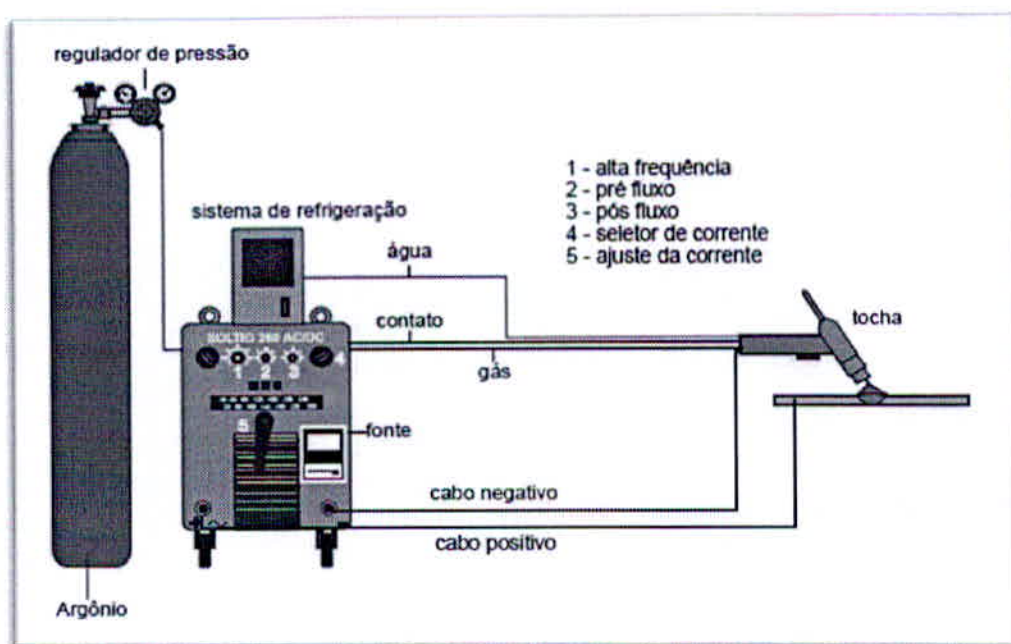
Fonte: MARQUES, 2009.

Figura 3-a – Fonte eletrônica para soldagem GTAW



Fonte: Foto tirada pelo autor – 20/10/2015

Figura 3-b – Componentes que compõe o processo de soldagem GTAW



Fonte: SENAI, 2004

3.1.2 Fontes para soldagem GTAW

A fonte de corrente elétrica necessária é do tipo corrente constante, com valor de saída ajustável para cada operação e pode ser contínua, alternada ou pulsada. Em termos de capacidade, as fontes para soldagem TIG fornecem uma corrente mínima em torno de 5 a 10 A e corrente máxima na faixa de 200 a 500 A (MARQUES, 2009).

As fontes para soldagem GTAW são do tipo corrente constante, do ponto de vista construtivo e operacional, são semelhantes às fontes para soldagem com eletrodos revestidos, mas em geral apresentam possibilidade de ajuste de corrente mais preciso e menores valores de corrente mínima de operação, para uma perfeita concentração de calor e eficiência no arco possibilitando soldagens de chapas com espessuras menores. Além disso, elas podem ser equipadas com dispositivos para abertura de arco, temporizadores e válvulas para controle de fluxo de gás, sistemas para refrigeração da tocha de soldagem, pedais para controle da corrente, dentre outros acessórios específicos para este processo os quais facilitaram a soldagem que de fato é um processo manual, podendo ser alterado para mecanizado através de alguns dispositivos adaptados (MARQUES, 2009).

O ideal é que as fontes de energia possuam dois temporizadores para o gás de proteção, pré e pós-fluxo, onde os respectivos períodos são ajustados de acordo com as condições de soldagem. O pré-fluxo é para expulsar o ar da mangueira do gás e da tocha antes da abertura do arco. O pós-fluxo é para proteger o eletrodo da oxidação do ar até que o mesmo seja suficientemente resfriado, após o término da soldagem.

3.1.3 Tochas para soldagem GTAW

A tocha de soldagem GTAW é um dispositivo com função fixar o eletrodo de tungstênio que irá conduzir a eletricidade e fornecer o gás de proteção direcionando ao local apropriado. Existem tochas refrigeradas pelo próprio gás de proteção (capacidade de até 150 A) ou tochas refrigeradas por água (capacidade acima de 150 A, até 500 A), neste caso é preciso uma fonte de refrigeração composta por um reservatório, motor elétrico, bomba e radiador para que seja feita a refrigeração interna da tocha (MARQUES, 2009).

Os componentes que compõem as tochas GTAW são: pinça e suporte da pinça, que serve para segurar o eletrodo de tungstênio e fazer contato elétrico e que deve ter um tamanho adequado para cada diâmetro de eletrodo; bocais, para direcionamento do fluxo de gás, que podem ser cerâmicos ou metálicos e são fornecidos em diversos diâmetros; eletrodos de

tungstênio, que serve para transferir a energia elétrica e formar a poça de fusão, sendo que o diâmetro do eletrodo e do bocal deve ser escolhido em função da espessura da peça a ser soldada e da corrente de soldagem a ser usada; Capa ou extensão, fixado na parte superior da tocha serve como protetor do eletrodo contra o ar da atmosfera. A figura 4-a e 4-b mostra uma tocha típica para soldagem TIG (MARQUES, 2009).

Figura 4-a – Tocha típica para soldagem TIG



Fonte: Foto tirada pelo autor – 20/10/2015

Figura 4-b – Componentes que compõe a tocha para soldagem TIG



Fonte: Foto tirada pelo autor – 20/10/2015

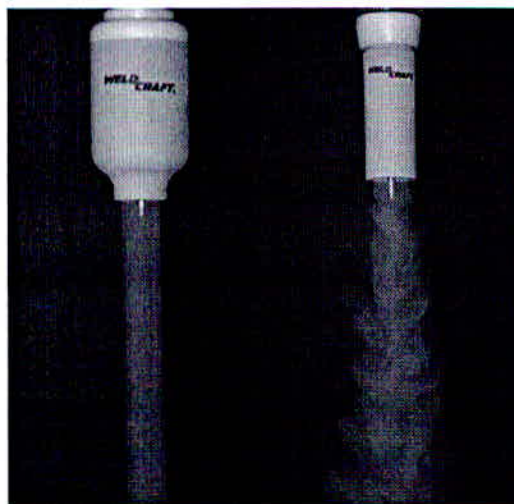
No processo GTAW alguns dispositivos especiais podem ser adaptados nas tochas para melhorar a eficiência da proteção gasosa esses dispositivos encontram no mercado para ajudar a melhorar a qualidade da solda quando necessitados, em situações especiais como os “gas lens”, que são telas com malha bastante fina, colocadas entre o eletrodo e o bocal, para garantir um fluxo de gás laminar e os “trailing Shields”, que consistem de um segundo bocal para saída de gás, geralmente comprido e colocado atrás da tocha, visando a proteger uma área maior do cordão de solda, durante o resfriamento pós-soldagem, esses dispositivos são componentes especificados conforme cada componente da tocha, as figuras 5-a e 5-b indicam situações especiais nas tochas que demonstram a eficiência do uso desses componentes (MARQUES, 2009):

Figura 5-a – Gas lens e bocal adaptável



Fonte: Foto tirada pelo autor – 20/10/2015

Figura 5-b – Comparação do uso de tochas com gas lens e tocha sem gas lens



Fonte: Honda-Tech.com, 2015

3.1.4 Fontes de gás de proteção para soldagem GTAW

A fonte de gás de proteção consiste de um cilindro de gás inerte para a proteção da solda e reguladores de pressão e vazão de gases para controle da quantidade de gás necessitada. O gás inerte pode ser o Argônio ou o Hélio, em situações diferentes misturas de gás devem ser usadas com certa frequência, nestes casos misturadores podem ser uma opção interessante. Economizadores de gás e válvulas elétricas (solenoide) podem também ser usados para otimizar o consumo e a operação de soldagem (MARQUES, 2009).

O gás além de fazer a proteção da região que envolve o arco e a poça de fusão através da expulsão do ar, o qual impossibilita a reação do oxigênio, nitrogênio, hidrogênio e outros compostos químicos presentes no ar, com o metal fundido durante a solda, protege o eletrodo e também transfere a corrente elétrica quando ionizado (ALCAN, 1993).

Para a soldagem do alumínio, o argônio puro é o gás de proteção mais apropriado. Devido ao fato de que o argônio não só fornece uma abertura de arco estável como propicia melhor ação de limpeza do que os outros gases inertes usuais. Já em materiais de grandes espessuras soldados na posição plana, as misturas de argônio e hélio fornecem bons resultados, pois o hélio consegue gerar um arco mais quente e propicio a tal situação. Mas devemos lembrar que o custo do hélio é bem superior ao do argônio, além do que, devido à sua baixa densidade, as taxas de fluxo usuais são bem maiores então não podemos esbanjar tal qualidade (ALCAN, 1993).

A pureza dos gases utilizados na soldagem GTAW é de grande importância para a qualidade da solda, exigindo-se teores mínimos de 99,998% do gás ou gases considerados. O teor de umidade também deve ser bem controlado. Cabe lembrar que está pureza precisa ser mantida até que o gás chegue efetivamente ao arco, porque até mesmo o mínimo vestígio de sujeira ou umidade pode ocasionar porosidade excessiva na solda (ALCAN, 1993).

Segundo Paulo Villani (2009, p. 211) podemos comparar a soldagem com argônio (Ar) e com hélio (He), e verificar as características durante a soldagem, conforme apresentado seguinte:

- Melhor estabilidade do arco com argônio do que com hélio;
- Menor consumo de Ar, já que este é mais denso que o He;
- Menores tensões de arco com Ar que com He;
- Menor custo do Ar;
- Maior penetração na soldagem com He que com Ar;

- Maior facilidade na abertura do arco com Ar;
- Melhor efeito de limpeza dos óxidos na soldagem com corrente alternada (ver técnica operatória) com Ar;
- Possibilidade de uso de maiores velocidades de soldagem com He;

Paulo Villani também nos apresenta que a seleção do gás de proteção é feita principalmente em função do tipo de metal que se quer soldar, da posição de soldagem e da espessura das peças a unir, conforme várias pesquisas e relatos de soldagem com proteção gasosa. Podemos acompanhar na norma AWS, especificação AWS A 5.32 que trata de gases de proteção para soldagem, a tabela 7 ilustra algumas aplicações típicas de gases para a soldagem do alumínio e suas ligas (MARQUES, 2009):

Tabela 7 – gases de proteção e tipos de corrente usuais na soldagem do alumínio e suas ligas.

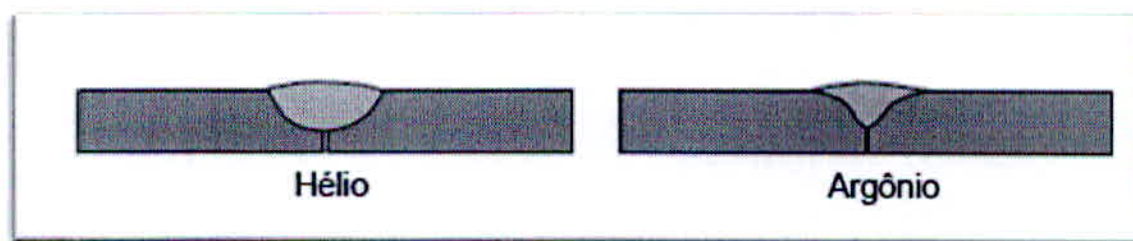
Material	Espessura	Gás de proteção e tipo de corrente			
		Soldagem manual		Soldagem mecanizada	
		Gás	Corrente	Gás	Corrente
Alumínio e suas ligas	< 3,2	Ar	CA	Ar	CA
				He	CC-
	>3,2			Ar-He	CA
		Ar	CA	He	CC-

- Misturas de Ar-He com até 75%; CA – Corrente alternada; CC- Corrente Contínua, eletrodo Negativo.

Fonte: MARQUES, 2009

A figura 6 ilustra o perfil de penetração do cordão de solda em análise dos gases de proteção hélio e argônio, representando que o hélio proporciona maior calor na solda e uma fusão mais eficaz que o Ar.

Figura 6 – Perfil de penetração da solda com uso de Ar e He.



Fonte: SENAI, 2004

3.1.5 Cabos elétricos e condutores para soldagem GTAW

Os cabos são usados para conduzir a corrente de soldagem da fonte de energia até o arco elétrico e retorno para a fonte, formando um ciclo de circuito elétrico. Também temos as mangueiras para a condução do gás de proteção e água para soldagem. O diâmetro destes cabos devem ser compatível com a corrente de soldagem usada, e as mangueiras são usadas para conduzir o gás ou mistura e, se for o caso, água para refrigeração até a tocha de soldagem (MARQUES, 2009).

3.1.6 Outros componentes e dispositivos para soldagem GTAW

Vários equipamentos ou sistemas auxiliares podem ser usados na operação de soldagem GTAW, como acionadores de deslocamento, controladores automáticos de comprimentos de arco, alimentadores de arame, osciladores do arco de soldagem, temporizadores etc. os quais facilitaram o controle na soldagem e garantirá melhor qualidade na solda (MARQUES, 2009).

Outros dispositivos são, por exemplos, controle de pedal para a corrente de soldagem, gatilho” (interruptor) na tocha de soldagem, que permite o comando do fluxo de gás e/ou outros dispositivos, sistema para fornecimento de gás de proteção na raiz da junta etc. os quais depende muito do tipo de fonte de energia que permite ou não a adaptação destes controles ou já vem pré-adaptados na fonte (MARQUES, 2009).

3.2 Consumíveis

Entende-se dentro do assunto de soldagem que, consumível de soldagem é todo elemento com finalidade exclusiva na função de se adicionar-se na solda ou de proteger a solda.

Os principais consumíveis da soldagem GTAW são os gases de proteção, as varetas e arames de metal de adição. Muitos destacam o eletrodo de tungstênio como parte dos consumíveis, porém os eletrodos de tungstênio são apenas condutores de energia e apesar de serem ditos não consumíveis, se desgastam durante o processo, devendo ser reconicionados e substituídos com certas frequências, e por isso serão tratados como consumível da soldagem GTAW. Bocais para tochas também se degradam com o uso e precisam ser substituídos com alguma frequência mais também não são considerados como consumíveis (MARQUES, 2009).

Compreendemos que os consumíveis de soldagem para GTAW são os gases e os metais de adição.

Os metais de adição se diferem entre si quanto a composição e formato para adicionar na solda. O metal de adição para a soldagem manual é fornecido na forma de varetas com comprimento em torno de 1 m. Para a soldagem mecanizada, o metal é fornecido na forma de um fio enrolado em bobinas com diferentes capacidades, dependendo do equipamento usado. Os diâmetros dos fios e varetas são padronizados e variam entre 0,5 a 5 mm aproximadamente. Já a composição do metal de adição depende do metal de base, sendo necessariamente ter uma certa compatibilidade entre as composições químicas e as propriedades mecânicas desejadas para a solda. Em geral se usa metal de adição de composição similar à do metal de base, mas não necessariamente idêntica (MARQUES, 2009).

Os metais de adição para a soldagem GTAW de alumínio pode ser encontrado na norma AWS item A 5.10.

3.3 Eletrodos

Para alguns, o eletrodo é a parte mais importante da soldagem GTAW, devido a série de cuidados e características envolventes no processo.

Os eletrodos mais comumente usados na soldagem GTAW são varetas sinterizadas de tungstênio puro ou com adição de óxido de Cério, Lantânio, Tório ou Zircônio conforme aplicação prática, e sua função é conduzir a corrente elétrica até o arco para formar a poça de fusão bem uniformizada e de fácil controle. A capacidade de condução é dependente de inúmeros outros fatores, tais como: tipo e polaridade da corrente, gás de proteção empregado, tipo de equipamento utilizado (com resfriamento a ar ou água), da extensão do eletrodo além do anel suporte (fixação do eletrodo com luva ou tubo) e a posição da soldagem, onde todos os itens tem que ser levados em consideração juntos, nos tópicos seguintes será tratados a respeito sobre a regulação do processo GTAW (MARQUES, 2009) / (ALCAN, 1993).

A tabela 8 apresenta os principais tipos de eletrodos de tungstênio sua composição química e suas principais características e aplicações para obter um bom resultado na soldagem GTAW Segundo norma DIN.

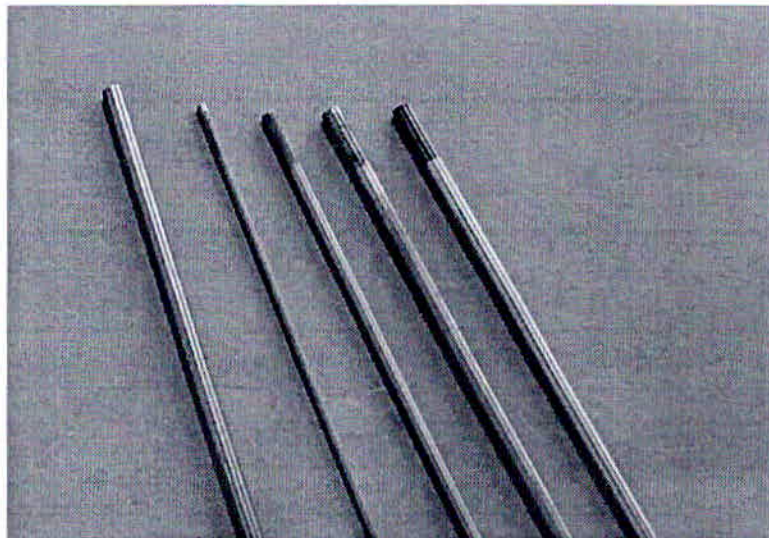
Tabela 8 – Eletrodos de tungstênio segundo norma DIN EN 26848:1991-10;
codificação da norma ISO 6848:1984

<p>TUNGSTÊNIO “PURO” PONTA VERDE</p>	<p>O eletrodo de Tungstênio P, é indicado principalmente para a soldagem de Alumínio e suas ligas, Magnésio e suas ligas, em corrente alternada, onde apresenta uma grande estabilidade de arco, tanto com onda equilibrada, como com alta frequência estabilizada.</p> <p>Apresenta também uma boa resistência a contaminação, mantendo a ponta limpa e de formato esférico. Pode ser utilizado em corrente contínua para a soldagem de outras ligas com aplicação menos críticas.</p>
<p>TUNGSTÊNIO Zr “0.80% de ZIRCÔNIO”</p>	<p>O eletrodo de Tungstênio Zr, com 0.80% de Zircônio, apresenta fácil ignição, boa estabilidade de arco, sendo especialmente indicado para soldagem em corrente alternada. Sua aplicação é recomendada, principalmente para a soldagem de equipamentos especiais, vasos de pressão, ligas de Níquel, aços inoxidáveis e ligas não ferrosas, com isenção de qualquer tipo de contaminação.</p>
<p>TUNGSTÊNIO Th2 “2% de TÓRIO” PONTA VERMELHA</p>	<p>O eletrodo de Tungstênio Th2, possui uma vida maior que o eletrodo Tungstênio P, devido a inclusão de 2% de Tório e proporciona uma maior emissão de elétrons, com excelente ignição e estabilidade de arco, e maior capacidade para transporte de corrente elétrica. A ignição do arco do eletrodo Tungstênio Th2 seda a uma distância maior do metal base do que o Tungstênio P, minimizando assim os riscos de contaminação, tanto do metal base como do eletrodo. Em soldagem manual, o consumo do eletrodo Tungstênio Th2 é de apenas 10 a 20% do consumo do eletrodo Tungstênio P, e as diferenças são ainda maiores em aplicações automatizadas. É indicado principalmente para a soldagem em corrente contínua de aços inoxidáveis, níquel e suas ligas, Titânio, Cobre e suas ligas, aços para ferramentas, aços de baixa liga, aço carbono.</p>

<p style="text-align: center;">TUNGSTÊNIO La “2% de LANTANIO” PONTA AZUL</p>	<p>O eletrodo de Tungstênio La, é indicado para todas as aplicações de soldagem pelo processo TIG, soldagem pelo processo de plasma, corte de plasma e metalização a plasma.</p> <p>A vida útil de Tungstênio La é de 7 a 10 vezes superior quando comparado aos eletrodos de Tungstênio puro. Além da durabilidade, apresenta também uma elevada capacidade para o transporte de corrente elétrica, excelentes características de ignição e estabilidade do arco, tanto em baixa como em alta amperagens, e elevada capacidade de manter a ponta limpa e afiada.</p> <p>A contaminação do metal base é praticamente nula e o eletrodo pode ser utilizado em corrente contínua e alternada com as mesmas características favoráveis, eliminando portanto, a necessidade de se manter em estoque, dois tipos diferentes de eletrodos.</p> <p>Todas estas vantagens do Tungstênio La foram comprovadas através de ensaios científicos em Institutos de Pesquisa de Soldagem no Japão, Estados Unidos e Europa e confirmados na prática, em muitas empresas de grande porte nos países acima mencionados.</p>
<p style="text-align: center;">TUNGSTÊNIO Ce “2% de CÉRIO” PONTA CINZA</p>	<p>O eletrodo Tungstênio Ce, é indicado para soldagem de grande parte dos materiais soldáveis pelo processo TIG, ou para as aplicações de plasma.</p> <p>Este eletrodo proporciona um arco cuja zona de calor é mais estreita do que ao eletrodo de Tungstênio puro.</p> <p>Aliada a estas características, o eletrodo Tungstênio Ce possui elevada capacidade para o transporte de corrente elétrica, que conseqüentemente permite o uso de eletrodos de menores diâmetros. Desta forma, obtemos uma zona fundida termicamente menos afetada.</p> <p>Pode ser utilizado com a mesma eficiência tanto em corrente alternada, quanto corrente contínua, não sendo necessária a utilização de dois tipos diferentes de eletrodos de Tungstênio.</p> <p>Em comparação ao eletrodo Tungstênio La, o Tungstênio Ce, possui as características de ignição e estabilidade maior, além de manter a ponta afiada por mais tempo. Quando utilizado em equipamentos de corte a plasma, a durabilidade da ponta é de 5 a 7 vezes superior ao Tungstênio La, gerando uma superfície com excelente acabamento após o corte.</p>

A figura 7 apresenta alguns tipos de eletrodo e suas cores de identificação.

Figura 7 – Identificação dos eletrodos de tungstênio.



Fonte: Foto tirada pelo autor – 20/10/2015

Eletrodos contendo tório têm sido evitados, já que este elemento é radioativo e pode ser inalado durante a fiação do eletrodo por abrasão, apesar da pequena quantidade.

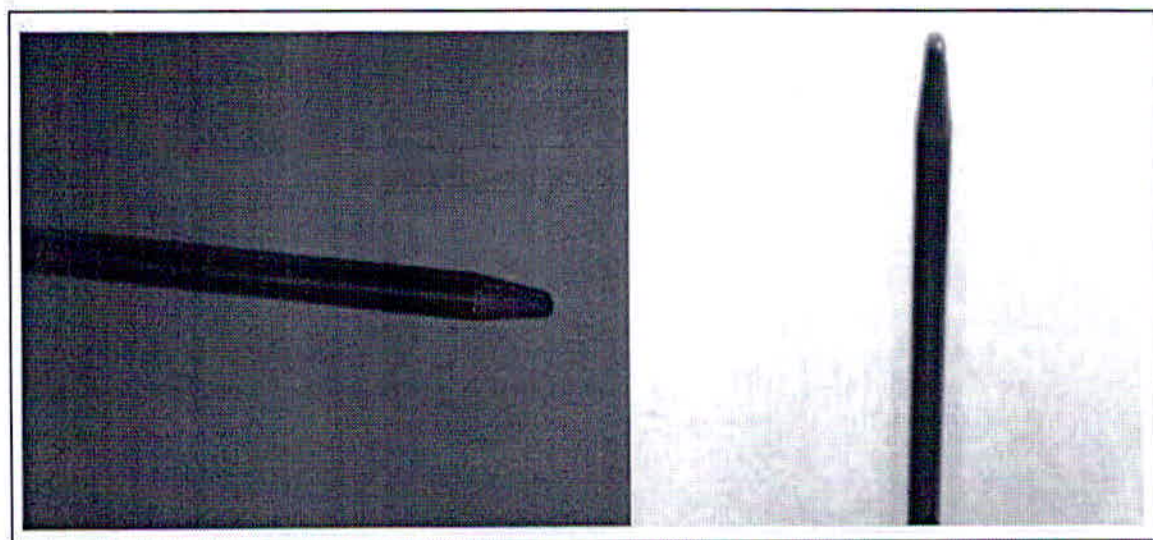
Eletrodos de tungstênio puro têm menor custo e, geralmente, são usados com corrente alternada, sendo que em tempos passados era o mais utilizado na soldagem do alumínio devido a necessidade de uso de corrente alternada para a quebra do óxido. Conforme citado na tabela 8, os eletrodos de tungstênio de Lantânio e Cério podem ser utilizados para a soldagem do alumínio e suas ligas. Os eletrodos de tungstênio zirconiado são também adequados para a soldagem em corrente alternada, todavia o zirconiado possui capacidade ligeiramente maior de conduzir corrente, bem como, apresenta maior resistência às contaminações (MARQUES, 2009) / (ALCAN, 1993).

Eletrodos com adição de óxidos apresentam melhor desempenho que eletrodos de tungstênio puro em termos de estabilidade de arco e durabilidade. Já os eletrodos toriados são projetados para serem utilizados em corrente contínua (CC). Todavia, em corrente alternada (CA), ao invés da formação de uma ponta esférica, preferível para a soldagem das ligas de alumínio, forma-se na extremidade várias projeções pequenas, esféricas e discretas, que acarretam instabilidade do arco e, conseqüentemente, prejudicam a sua ação de limpeza, assim como há tendência de ocorrer volatilização de tungstênio para a poça de fusão. Dessa forma, os eletrodos de tungstênio toriado não são indicados para a soldagem em corrente alternada, portanto não são indicados para a soldagem do alumínio (ALCAN, 1993).

A escolha do tipo de eletrodo, vai variar então com a disponibilidade da fonte de calor (potência oferecida e potência requerida), sendo uma escolha importante. O diâmetro do eletrodo varia de acordo com a amperagem utilizada para fundir o metal de base conforme podemos acompanhar na tabela 9 seguinte.

Há também situações onde o uso de uma bitola de eletrodo maior do que o normal é benéfica – por exemplo, na soldagem com a tocha na posição horizontal, porque um eletrodo de bitola maior é menos propenso a superaquecer e a encurvar-se. Neste caso, o soldador deve utilizar o eletrodo de bitola imediatamente maior do que a recomendada e, além disso, esmerilhar a sua ponta de forma cônica até atingir a bitola de uso, de modo que o tamanho da esfera fundida durante a soldagem seja o desejado, conforme mostrado na figura 8.

Figura 8 – Formato da ponta do eletrodo de tungstênio para a soldagem na posição horizontal.



Fonte: Foto tirada pelo autor – 20/10/2015

A tabela 9 relaciona alguns valores típicos de corrente para os dois tipos usuais de eletrodos de tungstênio empregados na soldagem com CA, utilizando fonte com onda equilibrada e fonte com onda não equilibrada, segundo Paulo Villani.

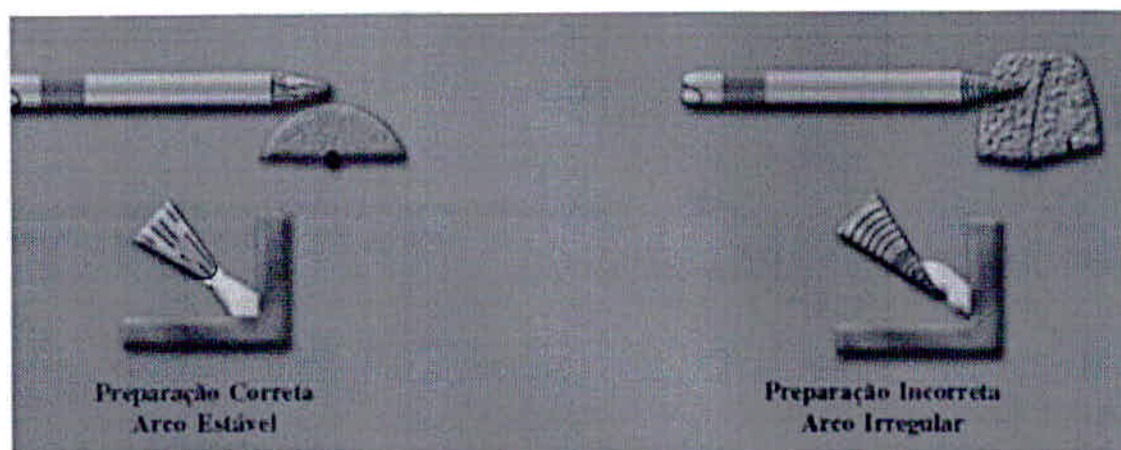
Tabela 9 – Faixas típicas de corrente para eletrodos de tungstênio em soldagem TIG (CA) com gás AR.

Diâmetro		ONDA EQUILIBRADA		ONDA NÃO EQUILIBRADA	
(in)	(mm)	Tungstênio Puro (A)	Tungstênio com Óxidos. (A)	Tungstênio Puro (A)	Tungstênio com Óxidos. (A)
0.010	0,3	Até 15	Até 15	Até 15	Até 15
0.020	0,5	10-20	05-20	05-15	05-20
0.040	1,0	20-30	20-60	10-60	15-80
1/16	1,6	30-80	60-120	50-100	70-150
3/32	2,4	60-130	100-180	100-160	140-235
1/8	3,2	100-180	160-250	150-210	225-235
5/32	4,0	160-240	200-230	200-275	300-400
3/16	4,8	190-300	290-390	250-350	400-500
1/4	6,3	250-400	340-525	325-450	500-630

Fonte: MARQUES, 2009

Para se obter resultados satisfatórios na soldagem TIG CA, a ponta do eletrodo depois de fundida deve ter configuração esférica, regular e brilhante. Os eletrodos tungstênio normalmente são apontados por meios químicos ou mecânicos, antes de se iniciar a operação de soldagem, quando afiados por meio mecânicos, não podemos esquecer que a afiação deverá ocorrer em sentido longitudinal ao eletrodo para evitarmos sopro-magnético do arco, como mostra a figura 9.

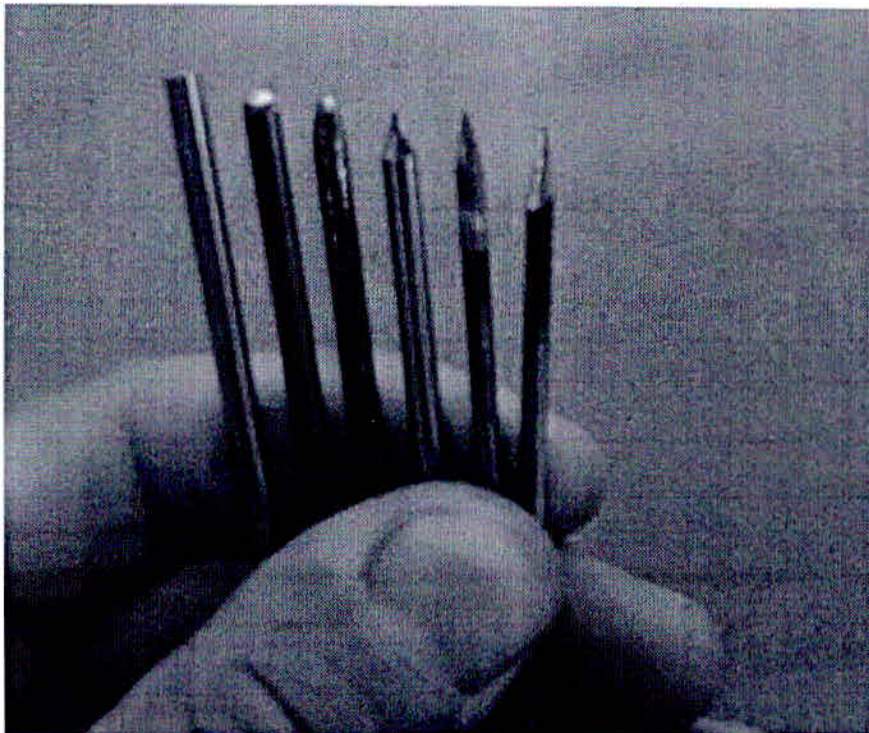
Figura 9 – Formas de afiação do maçarico



Fonte: abs-soldagem, 2015

A figura 10 Indica os principais formatos de afiação utilizado nos diversos tipos de eletrodos.

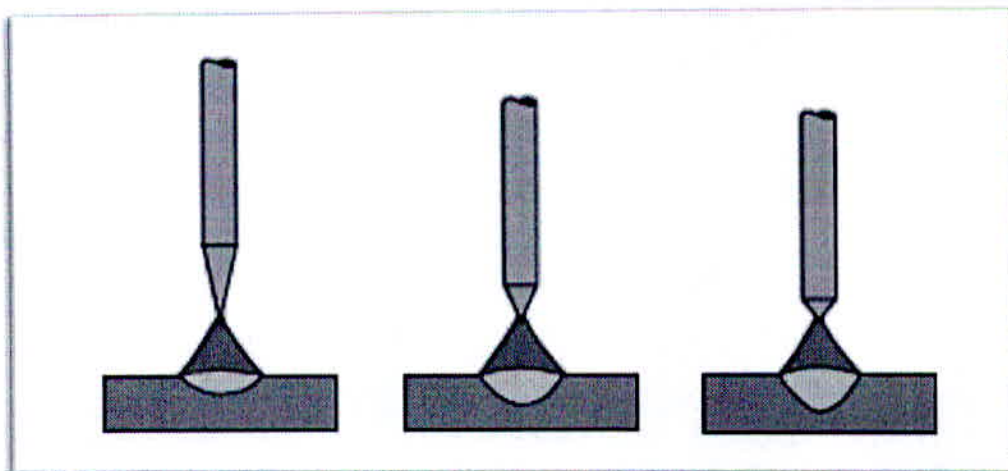
Figura 10 – Formatos de afiação de eletrodo de tungstênio para soldagem GTAW



Fonte: Foto tirada pelo autor – 20/10/2015

Abaixo podemos observar que ao alterar-se o ângulo da ponta do eletrodo obtém-se variação no perfil do cordão de solda. Sendo que ângulos agudos concentram mais o arco aumentando a penetração da solda e ângulos maiores diminuem a penetração aumentando a largura do cordão conforme mostrado na figura 11 (SENAI Varginha / MG – 2004).

Figura 11 – Influência do ângulo da ponta do eletrodo na penetração do cordão de solda.

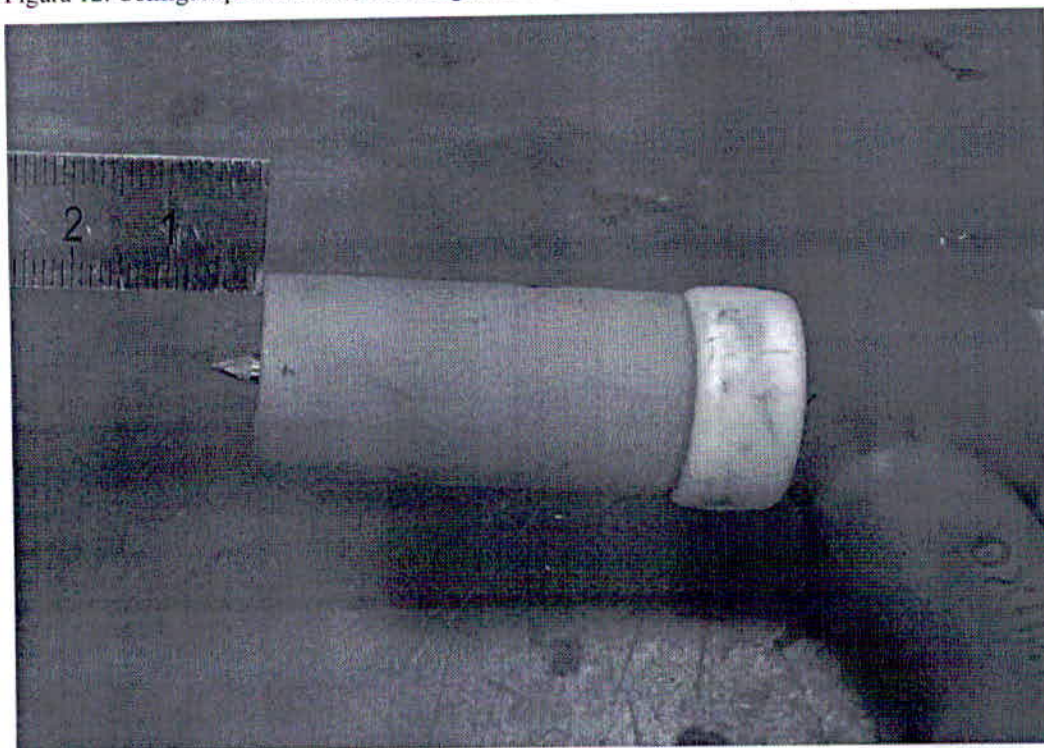


Fonte: SENAI, 2004

Quando a bitola (diâmetro) do eletrodo é maior em relação à corrente que está sendo utilizada, a sua extremidade não toma a configuração totalmente esférica e o arco tende a ser errático (sem direção). No caso inverso, isto é, bitola do eletrodo bem pequena, a sua ponta pode superaquecer e formar uma esfera maior que o eletrodo, levando à instabilidade do arco, assim como há uma tendência de volatilização de tungstênio para a poça e de fusão. Isto resultará em uma solda sem qualidade, comprovando a importância de se conhecer todos itens da soldagem que devem ser levados em consideração e ser apresentados a todos para que a qualidade da solda seja refletida em todos os cantos que se trabalha com soldagem (ALCAN, 1993).

Importante também saber que o eletrodo deve estar centralizado em relação ao bocal da tocha de modo que a poça de fusão fique bem protegida pelo gás. Normalmente, a extensão do eletrodo, dentro da proteção gasosa, é cerca de 3,0 mm além do bocal, mas em virtude das características da aplicação, tal como em soldas de canto (junta em “T”), uma extensão maior pode ser necessária como também vazões de gás ligeiramente mais altas para assegurar a proteção da poça de fusão conforme podemos acompanhar na figura 12, seguinte (ALCAN, 1993).

Figura 12: Configuração do eletrodo de tungstênio e bocal da tocha em uma junta para soldagem.



Fonte: Foto tirada pelo autor – 20/10/2015

A vazão de gás de proteção deve ser mantida não apenas no decorrer da soldagem, mas também depois da interrupção do arco, até que o eletrodo atinja a temperatura ambiente, conforme citado anteriormente através do controle de pré e pós purga de gás. Quando os eletrodos são resfriados de modo correto, a sua ponta fundida tem o aspecto brilhante e polido; quando são resfriados inadequadamente, eles podem oxidar-se, apresentando a ponta fundida revestida por uma película colorida; esta película, se não for removida, pode comprometer a qualidade da solda nas soldagens posteriores (ALCAN, 1993).

3.4 Metais de adição para a soldagem do Alumínio

A soldagem TIG (CA) em alumínio pode ser feita com ou sem metal de adição. A soldagem sem metal de adição, denominada de autógena, é limitada, principalmente a materiais de espessura muito fina e também em alguns casos em soldagem de quina a qual o próprio derretimento da junta favorece ao perfil do cordão.

O metal de adição ajuda a minimizar a fissuração, compensa variações na montagem da junta e participa na elaboração de soldas de filete e outras soldas onde a deposição de metal é necessária para fazer a solda. O metal de adição conforme já foi tratado no item consumível, é normalmente comercializado em varetas retas de adição com comprimento e diâmetro padronizado (ALCAN, 1993).

No caso específico da soldagem do alumínio, a especificação que prescreve os requisitos de classificação para varetas de alumínio e ligas de alumínio – para uso do processo a arco com tungstênio e atmosfera gasosa (GTAW) – é a norma A5.10 da AWS (“American Welding Society”). A nomenclatura utilizada para classificar os eletrodos e varetas é composta por quatro dígitos, ou seja, idêntica à da “Aluminum Association” (para metais de base), procedidos das letras **E** e **R**, que designa vareta / eletrodo, conforme exemplificado a seguir e mostrado na figura 13 (ALCAN, 1993):

- **ER – 4043**(Vareta/eletrodo de alumínio silício com 43% de pureza)

Figura 13: Vareta de adição para soldagem do alumínio com processo GTAW.



Fonte: Foto tirada pelo autor – 20/10/2015

Conforme ALCAN (1993 p.4-2), a escolha do metal de adição mais adequado para cada circunstância de soldagem pode ser simples ou complexa, ela é simples quando as estruturas são fabricadas a partir de ligas usuais simples, onde as práticas empregadas na fabricação são comuns, e também quando as condições de serviço às quais ficam expostas são normais. Entretanto, ligas de base especiais, procedimentos de fabricação ou condições de serviço específicos podem necessitar de metais de adição em que a escolha é mais complexa.

Sendo os fatores que influenciam na escolha do metal de adição os seguintes:

- Composição química do metal base;
- Geometria da junta;
- Diluição;
- Resistência mecânica e ductilidade do metal de solda;
- Tendência a fissuração a quente;
- Resistência a corrosão em serviço;
- Comportamento da solda em temperaturas elevadas;
- Fluidez do metal de solda;
- Diferença de tonalidade entre o metal de solda e o metal de base após a anodização;

A tabela 10, presente no anexo A, informa quais os metais de adição corretos utilizados para unir várias combinações de metais base, levando em considerações a maioria dos fatores acima.

3.4.1 Ligas 5356, 5183 e 5556

A seguir são dados pequenos resumos sobre os grupos de metal de adição e suas aplicações direcionados ao alumínio da série 5XXX, segundo ALCAN (1993 p.4-3) visto que pode ser útil ao usuário ter algum conhecimento de como as recomendações foram determinadas e das consequências possíveis no caso de se escolher um metal de adição errado

As ligas acima foram desenvolvidas, inicialmente para soldar as ligas de base da série 5XXX. A primeira delas (5356) é a mais usual de todas as ligas de adição em alumínio, devido a sua compatibilidade com a maioria dos metais de base, por apresentar boa resistência mecânica. A liga 5183 é uma opção para a 5356 com resistência mecânica ligeiramente maior. Já a 5556 é a segunda alternativa com a resistência mecânica também maior do que a 5356. As três ligas de adição citadas contêm alto teor de magnésio (5,0%) e são indicados todas as vezes que se deseja soldar ligas da série 5XXX entre si ou formando juntas dissimilares com as ligas tratáveis termicamente das séries 6XXX e 7XXX. Entretanto, essas ligas apresentam uma limitação importante que é a sua inadequabilidade em aplicações sob tensão, para períodos prolongados e temperaturas de serviço acima de 65 ° C (por exemplo, em vasos de pressão, sistemas de tubulação, ou navios petroleiros transportando cargas aquecidas ou sujeitas à limpeza com vapor). Isto é explicado pela formação do composto Al_3Mg_5 nos contornos dos grãos, tornando as ligas com teor de Mg ao redor 5,0% propensas à corrosão sob tensão em determinadas condições metalúrgicas e ambientais.

3.4.2 Ligas 4043, 4643, 4047 e 4145

A seguir são dados pequenos resumos sobre outros grupos de metal de adição e suas aplicações direcionados ao alumínio da série 5XXX, segundo ALCAN (1993 p.4-3) visto também que pode ser útil ao usuário ter algum conhecimento de como as recomendações foram determinadas e das consequências possíveis no caso de se escolher um metal de adição errado.

A primeira destas ligas (4043) foi desenvolvida para a soldagem das ligas de base tratáveis termicamente, principalmente as da série 6XXX. Ela possui ponto de fusão menor e fluidez melhor se comparada com as ligas de adição da série 5XXX, sendo a predileta da maioria dos soldadores, porque ela “molha e flui melhor” e é menos sensível ao fissuramento da solda com metais de base da série 6XXX. Também proporciona um acabamento de solda superficial mais brilhante, isto é, com menos fuligem, o que contribui ainda mais para o fato de ser a preferida dos soldadores.

No entanto, estas ligas não são adequadas para soldar ligas com alto teor de Mg, tais como 5083, 5086, 5456, 5182 ou 5082, devido à quantidade excessiva de siliceto de magnésio (Mg_2Si) que provavelmente pode se formar na estrutura da solda, provocando um decréscimo de ductilidade e aumento de suscetibilidade à trinca.

Conforme anexo B, tabela 10, a escolha do metal de adição é baseado em vários fatores que podem ser tabelados para facilitar a escolha do metal correto.

Outros dados importantes da soldagem do alumínio da série 5XXX, pode ser acompanhado segundo ALCAN (1993 p.3-4):

As ligas de alumínio desta série, com teor abaixo de 2,5% Mg (5005, 5050, 5052, 5252), quando soldadas com os processos de fusão a arco ficam sujeitas à fissuração a quente durante fase de solidificação, caso o metal de adição utilizado tenha a mesma composição química do metal de base. Além do que, o risco de fissuração aumenta quando a solda é depositada sob condições de restrição, ou seja, as partes a serem unidas ficam impedidas de movimentação. Este problema é facilmente superado pelo aumento do teor de Mg da poça de solda para mais de 3,0% Mg, o que pode ser feito mediante o uso de um metal de enchimento adequado. Os metais de adição de classificação Al-5% Mg (ER-5356, ER-5556 e ER-5183) são muito eficazes e podem evitar a fissuração até mesmo em juntas com movimentação restrita, nas quais há considerável diluição do metal base.

Nesta série, o destaque especial é dado à liga Al-4,5% Mg-Mn (5083), por ser a mais resistentes das ligas trabalháveis não-tratáveis termicamente e por já há muitos anos vir sendo amplamente empregada na construção de estruturas soldadas em aplicações marítimas e instalações criogênicas. Esta liga não apresenta tendência à fissuração na solda e pode ser soldada com os seguintes consumíveis normalizados: ER-5356, ER-5183 e ER-5556. Destes metais de enchimento, o de classificação ER-5356 é empregado mais comumente na fabricação em geral; entretanto, os de classificação ER-5183 e ER-5556 são os mais indicados para a soldagem de material espesso (acima de 20 mm), visto que a liga ER-5183 propicia propriedades semelhantes às do metal base na condição como recozida, e a liga ER-5556 confere maior resistência, porém com ductilidade e tenacidade ligeiramente inferiores. Todas as ligas pertencentes a esta série são soldáveis por fusão e também podem ser soldadas a ponto por resistência elétrica, todavia é necessário cuidado especial na preparação da superfície, devido a seus filmes de óxidos serem muito duros.

4 TÉCNICAS OPERATÓRIAS

Uma boa solda é o resultado do trabalho consciencioso feito por um soldador qualificado, que para tal utilizou o equipamento correto e seguiu os cinco fatores que determinam uma boa solda, sendo eles:

- Pessoa certa;
- Segurança;
- Compatibilidade;
- Dimensionamento;
- Acabamento

Todavia, há vários outros fatores que não são da própria operação de soldagem, mas que afetam os resultados finais, e para os quais nem sempre é dada a importância merecida. Esses fatores serão citados seguinte:

4.1 Estocagem e Manuseio do alumínio

Como já foi dito nos parágrafos anteriores do trabalho, é característica do alumínio a formação natural de um filme de óxido sobre a sua superfície. E é este filme que confere ao alumínio resistência à corrosão elevada. Mas por outro lado, a superfície do filme é porosa e pode reter umidade e sujeira, que prejudicaram a soldagem (ALCAN, 1993).

Sendo assim, todo cuidado deve ser tomado para assegurar que um filme de óxido com espessura maior do que o normal não se forme sobre a superfície do alumínio durante a estocagem. Isto significa conservá-lo em local seco e numa temperatura moderada regular. O alumínio deve ser limpo e livre de umidade sempre que tiver que ser soldado, para evitar porosidade na solda. Embora existam técnicas para limpar e secar, é evidente que é mais econômico e eficiente manter o metal em sua condição original do que ter que restaurá-lo antes do uso (ALCAN, 1993).

Métodos como escovamento, esmerilhamento ou ataque químico podem remover a mancha d'água, porém são dispendiosos e não restabelecem a aparência original do metal. Assim sendo, é muito melhor evitar as condições que causam a mancha d'água, e para isso a ALCAN sugere vários métodos a seguir:

- Manter controle estreito das temperaturas relativas ar / metal;
- Dispor as peças de metal de forma que o ar circule em torno de cada peça;

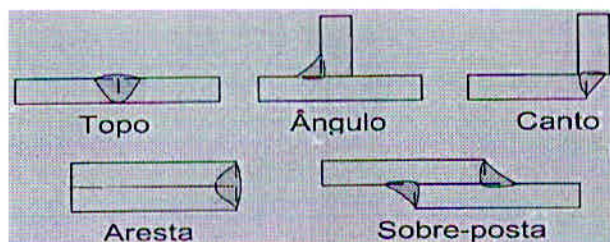
- Armazenar o metal em embalagem à prova de umidade em situações mais críticas.

Uma maneira simples de também proteger o metal do acúmulo de hidrocarbonetos (óleo e graxa), poeira e agentes agressivos do meio ambiente é cobrindo-o com uma folha de plástico e uma de papelão sobre o plástico, pois o papelão irá absorver a umidade e o plástico terá papel de reter a umidade não deixando-a entrar em contato com o alumínio (ALCAN, 1993).

4.2 Preparação do metal para soldagem

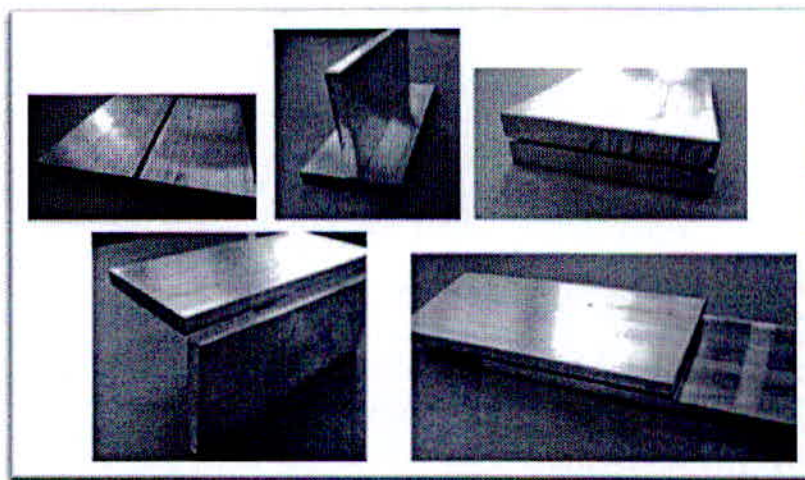
As juntas exemplificadas na figura 14-a e 14-b são os cinco tipos básicos mais usuais na soldagem do alumínio. Elas podem requerer ou não preparação das bordas, tal como biselagem. Todavia, é importante que se dê uma atenção cuidadosa não só às vantagens e desvantagens gerais, como para a aplicação das juntas com relação a cada requisito de união específico. A tabela 11 lista as principais vantagens e desvantagens dos cinco tipos de juntas citados (ALCAN, 1993).

Figura 14-a – Esquema dos principais tipos de junta para soldagem



Fonte: Dados particulares do autor do trabalho.

Figura 14-b – Juntas básicas em chapa de alumínio



Fonte: Foto tirada pelo autor – 20/10/2015

Tabela 11 – Vantagens e desvantagens das juntas mais comuns na soldagem do alumínio

Tipo	Vantagens	Desvantagens
Topo	<p>Simple e fácil de ser projetada; Propicia acessibilidade máxima para soldagem; É a mais indicada quando o material é submetido à esforços de fadiga; É eficaz para todos os tipos de esforço; Uso mínimo de material de adição.</p>	<p>Exige mais precisão no alinhamento e na montagem; Normalmente requer o uso de dispositivos de fixação; Normalmente necessita de preparação de bordas; Frequentemente requer o uso de cobre-junta (“backing”); Normalmente exige a prática de goivagem.</p>
Ângulo ou em “T”	<p>Usualmente simple e fácil de ser projetada; Eventualmente precisa de preparação das bordas; Não requer goivagem; Os dispositivos de fixação são bem simples.</p>	<p>A montagem depende da precisão na preparação da borda da alma; Excentricidade das soldas resulta em concentrações de tensões, reduzindo a resistência à fadiga das juntas; A face de solda deve ser projetada para ter duas vezes o tamanho do filete de solda (ver Fig. 6).</p>
Canto ou em quina	<p>Simple e fácil de ser projetada; Pode ser soldada somente de um lado.</p>	<p>Difícil de fixar; Difícil de soldar adequadamente com o processo TIG, salvo para espessuras finas; Não é eficaz para todos os tipos de esforços mecânicos.</p>
Aresta	<p>Simple e fácil de ser projetada; Soldada somente de um lado.</p>	<p>Difícil de soldar; Pode precisar de preparação das bordas; Não é eficaz para todos os tipos de esforços mecânicos.</p>
Sobre-posta	<p>Simple e fácil de ser projetada; Permite variações na espessura do material; Eventualmente precisa de preparação das bordas; Não requer goivagem.</p>	<p>O material sobre-posto é inaproveitado; Excentricidade causa concentração de tensão, reduzindo a resistência à fadiga da junta.</p>

Fonte: ALCAN, 1993

As operações de corte, biselagem e goivagem do alumínio são diferentes das de aço. O processo a arco plasma e alguns métodos mecânicos se comportam muito bem e podem ser usados em substituição ao oxicorte. As máquinas operatrizes para trabalho em alumínio são bem simples, são as mesmas utilizadas para o trabalho em madeira, em virtude do comportamento dos dois materiais, porém o alumínio precisa de máquinas com maior potência para poder manter as velocidades de corte constantes, sob carga total (ALCAN, 1993).

4.2.1 Modos de preparação das bordas

A preparação das bordas do metal a soldar é necessária, quase sempre, para facilitar a fusão, permitir que a junta fique totalmente penetrada e melhorar o acesso da pistola durante a soldagem. Os métodos mais usuais empregados na preparação das bordas em alumínio são descritos abaixo (ALCAN, 1993):

- Cisalhamento

Pode ser feito por guilhotina ou tesoura mecânica.

- Corte por serra

Elas podem ser de diversos modelos, tais como serras de fitas, serras circulares e serras tico-tico.

- Esmerilhamento

A operação de esmerilhamento do alumínio apresenta melhores resultados quando se utilizam discos semi flexíveis reforçados com uma tela de fibra de vidro.

- Corte, Biselagem e Goivagem a arco plasma

O processo plasma é um método de corte e goivagem de alumínio altamente produtivo, suas principais características são as altas velocidades de corte e o bom acabamento das superfícies cortadas, que a maioria das vezes podem ser soldadas sem que haja qualquer preparação prévia.

- Biselagem e Goivagem a arco grafite

Esse processo usa um jato de ar comprimido junto com um arco obtido a partir de um eletrodo de grafite ou carbono para remover o metal de corte.

- Outros métodos mecânicos

Além dos métodos de preparação das bordas descritos até aqui, há outros que também são enorme valia. Normalmente usam ferramentas de carpinteiro, como: a plaina manual portátil, as tupias de alta velocidade e as fresadoras de borda, equipadas com ferramentas de corte moldadas de tal forma a dar o contorno e perfil da borda desejada (chanfros “J”, “U”, “V” e outros).

4.2.2 Técnicas de limpeza do alumínio para a soldagem

A limpeza da junta a ser soldada é um pré-requisito para se obter soldas isentas de defeitos, algumas peças no máximo precisam fazer um simples escovamento das áreas da junta,

outras necessitam de cuidados maiores para se evitar a ocorrência de defeitos na solda, principalmente porosidade, tais fatores como resíduos de óleos, graxa, pintura e umidade na peça a ser soldada devem ser removidos antes da operação de soldagem. A limpeza deve abranger não só as bordas como também uma faixa razoável da superfície imediatamente adjacente à junta.

A seguir apresentamos as técnicas e materiais mais usuais, aprovados como sendo adequados para a fabricação em alumínio.

4.2.3 Limpeza química

Em particular, o escovamento nunca deve ser feito sobre uma superfície oleosa ou gordurosa, porque ele tende a besuntar a gordura na superfície e, além do mais, a escova fica completamente contaminada e logo passa a não ser mais eficiente para a finalidade pretendida. Por isso, a regra fundamental é desengraxar primeiro e em seguida escovar (ALCAN, 1993).

Os procedimentos químicos recomendados para remover óleo, graxa e partículas de impurezas constituem-se de imersão, nebulização ou limpeza com produtos químicos comerciais, formulados adequadamente para esta finalidade. Um método bastante simples e eficiente é usar um pano que foi embebido num solvente desengraxante, por exemplo, álcool ou acetona, e passar nas bordas e nas áreas adjacentes da junta a ser soldada (ALCAN, 1993).

4.2.4 Remoção da umidade do alumínio

Traços de umidade, ainda que diminutos, podem gerar porosidade bastante crítica na solda.

A umidade condensada sobre o metal pode ser eliminada pelo seu aquecimento. A temperatura de aquecimento deve ser maior que o ponto de orvalho, mas não tão elevada para afetar as propriedades mecânicas da liga. Uma temperatura em torno de 65 ° C é usualmente adequada e segura para todas as ligas de alumínio (ALCAN, 1993).

4.3 Pré-Aquecimento

O pré-aquecimento (antes da soldagem) minimiza as tensões durante a solidificação do metal pela redução do gradiente térmico, através da zona de solda. Logo, em alguns casos, ele pode ser aplicado para reduzir o fissuramento em peças quando elas são reparadas por

soldagem, ou balancear o calor na soldagem de componentes de espessuras muito diferentes para melhor controle da penetração. Todavia, é importante ter conhecimento da perda de propriedades do alumínio, caso ele seja aquecido excessivamente (ALCAN, 1993).

O pré-aquecimento apenas deve ser aplicado ao alumínio quando for inevitável, e, se o for, a temperatura e o tempo devem ser sempre rigorosamente controlados. Devido ao fato de o alumínio não mudar de cor quando é aquecido, a temperatura de pré-aquecimento precisa ser monitorada por meio de indicadores de temperatura.

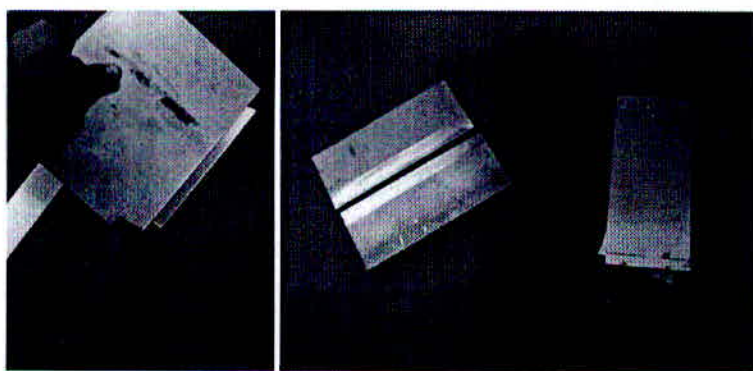
No caso das ligas da série 5XXX, a temperatura não deve exceder a 121 °C e, não deve ser aplicado por mais de 30 minutos (ALCAN, 1993).

4.4 Escovamento do alumínio

Um leve escovamento da junta e das áreas ao seu redor com escova manual ou elétrica é a última operação a ser feita antes da soldagem. Independentemente do tipo de escova (manual ou elétrica), o efeito é o mesmo. A função desta operação é remover o filme de óxido que, embora volte a se formar instantaneamente, é agora muito mais fino e não tem tempo de absorver algum tipo de sujeira, umidade ou substâncias oleosas. As escovas mais recomendadas para uso no alumínio devem ser de cerdas de aço inoxidável ou de bronze, que devem sempre ser mantidas limpas. Recomenda-se que o escovamento do alumínio deve ser leve.

Como o processo de escovamento retira o óxido da chapa, e este último por sua vez tem dentre outras, a finalidade de proteção do material, portanto recomenda-se fazer o escovamento apenas da borda que vai ser soldado, utiliza-se para este fim uma chapa de aço inoxidável cobrindo a chapa e deixando apenas a borda para limpeza, conforme mostrado na figura 15 seguinte:

Figura 15: Procedimento recomendado para escovamento do alumínio.



Fonte: Foto tirada pelo autor – 20/10/2015

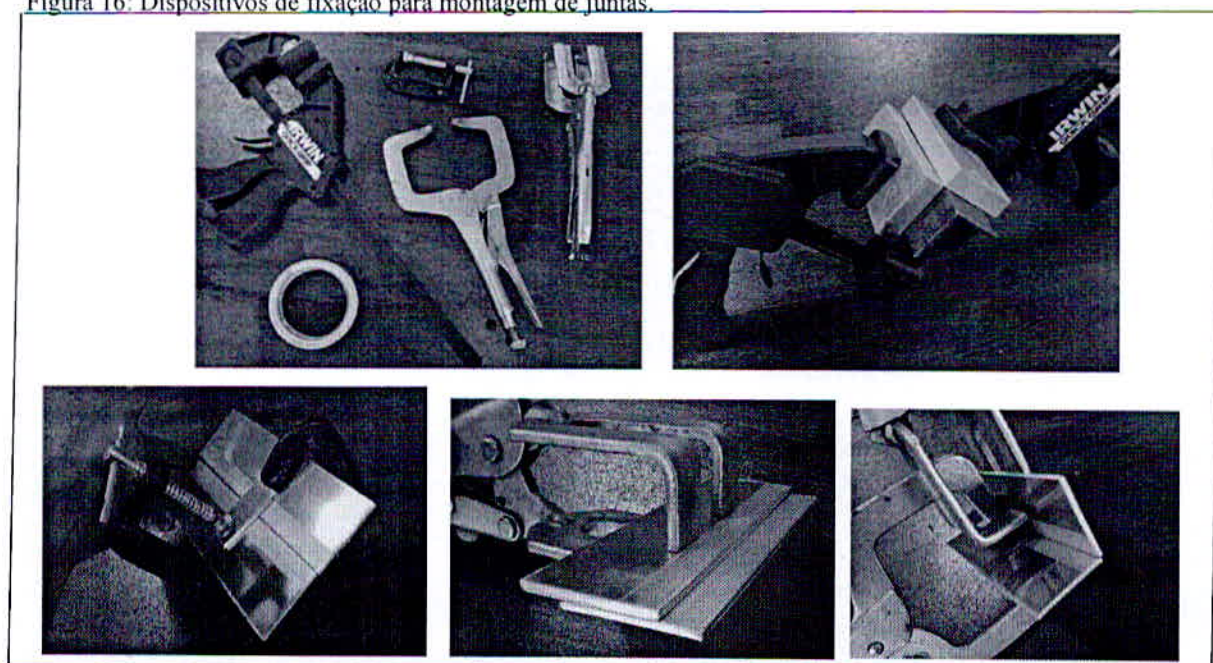
4.5 Montagem da junta

Uma vez que as bordas da junta estejam preparadas e limpas, o próximo passo é montá-las e fixá-las rapidamente e, em seguida, soldar antes que haja uma oportunidade de algum tipo de sujeira reformar-se sobre elas.

Caso a junta montada corra o risco de ficar exposta a agentes contaminantes antes de ser soldada, é comum cobri-la com uma tira de papel grosso (exemplo: tipo papel betumado) com largura suficiente para proteger pelo menos duas polegadas do metal distante de cada lado da junta (ALCAN, 1993).

Para a montagem das juntas, recomenda fazer o uso de gabaritos e elementos de fixação para garantir que a junta não se altere durante o ponteamto inicial ou a soldagem executada. O tipo e a quantidade de elementos vão depender do tamanho e da configuração da junta para manter o controle dimensional preciso dos conjuntos soldados, veja a figura 16, a seguir, exemplos de montagens de juntas com dispositivos de fixação.

Figura 16: Dispositivos de fixação para montagem de juntas.



Fonte: Foto tirada pelo autor – 20/10/2015

4.5.1 Ponteamento da junta

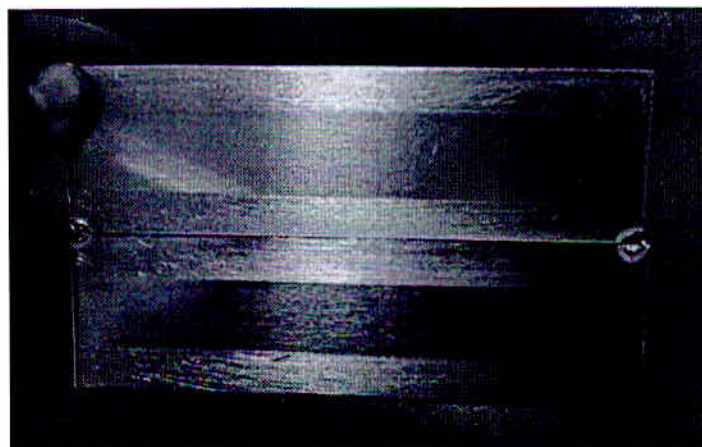
Quando um dado gabarito de solda não for seguro, o ponto de solda é normalmente utilizado como uma forma de fixação para manter os componentes a serem unidos na posição correta (ALCAN, 1993).

A quantidade de pontos desenvolvidos em uma peça depende de dois fatores, a espessura da chapa e o comprimento de solda a executar, sendo que se for executado poucos pontos de solda a peça irá deformar devido ao aquecimento da solda, sendo então utilizado uma constante de 35 vezes a espessura da peça para a distância mínima de cada ponto de solda, a figura 17 apresenta uma chapa a qual teve apenas 2 pontos de solda, já o exemplo a seguir apresenta uma situação que depende de mais pontos de solda.

Exemplo:

- Uma chapa de 3/16" (4,76 mm) com comprimento de 300 mm terá: 3 pontos de solda

Figura 17: Dispositivos de fixação para montagem de juntas.



Fonte: Foto tirada pelo autor – 20/10/2015

4.6 Uso de Cobre-junta (“Backing”)

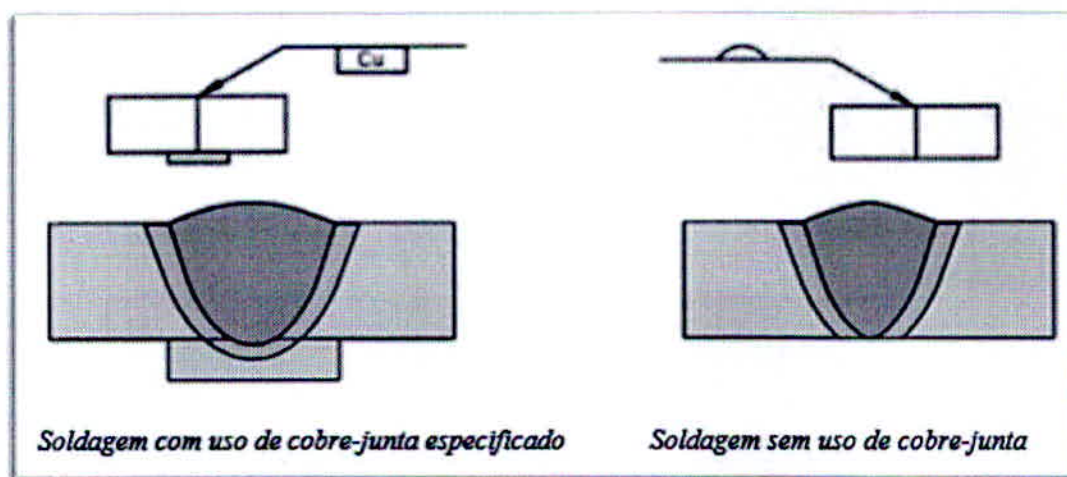
O cobre-junta é um tipo de suporte colocado na raiz da junta a ser soldada com a função de sustentar a penetração do cordão durante a soldagem e facilitar o trabalho do soldador quando o projeto exige soldagem com projeção do lado oposto, A figura 18 ilustra o uso do cobre junta (ALCAN, 1993).

Há dois tipos principais de cobre-junta: temporário e permanente.

O material empregado no cobre-junta temporário pode ser cobre, cerâmica ou aço inoxidável.

O cobre-junta permanente será sempre de alumínio e da mesma liga do metal base da junta, ou uma liga compatível.

Figura 18 – Soldagem com uso de cobre-junta ou não.



Fonte: Dados particulares do autor do trabalho.

4.7 Execução do cordão de solda

Ao se deparar com o início da operação de soldagem devemos nos precaver de alguns itens de suma importância que não podemos achar que já tomamos muito cuidado e já podemos ir direto executando a soldagem.

Temos que lembrar que no processo de soldagem GTAW o aporte térmico é muito grande em alguns metais de base, devido o processo ser lento e com alta temperatura na chapa, mesmo com a concentração do calor que reduz as dilatações, o aporte térmico pode afetar no material, no entanto é desejável, quando se tem materiais espessos, realizar um pré e/ou pós aquecimento em determinados materiais para aliviar as tensões no metal, conforme já mencionado anteriormente, ou desenvolver vários passes sequenciais com operações de interpasse conforme será mencionado seguinte.

4.7.1 Operações de interpasse

As soldas em passes múltiplos requerem alguns cuidados para assegurar que nenhum tipo de defeito seja introduzido entre os passes de solda.

Segundo a norma AWS existe dois modos para se fazer o cordão de solda:

- Com passe estreito: sem tecimento na soldagem (movimento laterais).
- Com passe oscilatório: com tecimento na soldagem.

O problema de um cordão oscilante (largo) é o aporte térmico muito grande, por isso a norma recomenda passes quando necessitar de tecimento, que seja com movimentos oscilantes pequenos, para evitar uma série de defeitos. Os diversos tipos de tecimento serão apresentados e discutidos no item tecimento na soldagem.

Quanto a sequência de execução é um fator determinante, o qual controla a taxa de aquecimento e resfriamento durante cada camada. A operação de escovamento após cada passe depositado contribui com três benefícios a saber:

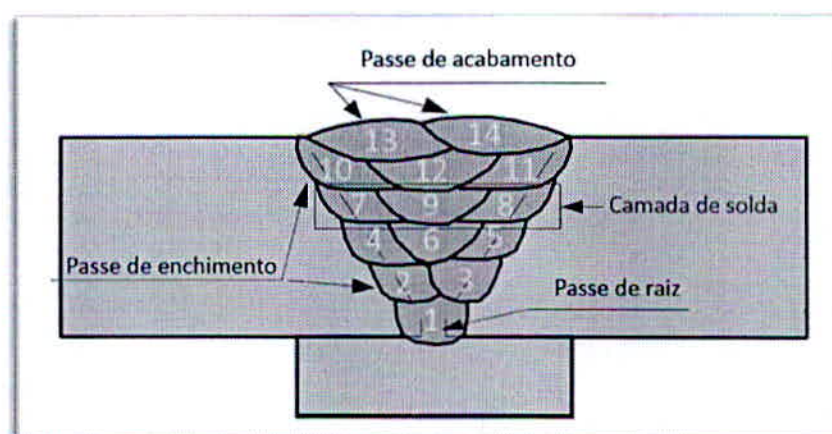
Remove a fuligem, ajudando a prevenir a falta de fusão ou porosidade na sucessão dos cordões de solda;

Limpa a superfície da solda, contribuindo para que o soldador decida melhor onde localizar o cordão de solda seguinte e obter o perfil de cordão desejado;

Reduzir a espessura de óxido de alumínio superficial pós soldagem.

A figura 19 ilustra os interpasses e camadas de solda quando a junta requer vários passes para enchimento (ALCAN, 1993).

Figura 19 – Interpasse de solda






Fonte: Dados particulares do autor do trabalho.

4.7.2 Tecimento na soldagem

A tabela 12, seguinte apresenta alguns dos padrões de tecimento e suas principais características.

Tabela 12: Tipos de tecimento na soldagem e aplicações usuais.

Exemplo de execução	Termo	Aplicação
	CONTINUO	Espessuras finas < 2 mm
	ZIG ZAG	Espessuras médias 2 – 4 mm
	CIRCULAR	Espessuras Grossas > 4 mm

Fonte: O Autor.

4.8 Técnicas de soldagem GTAW em alumínio

Na soldagem com eletrodos consumíveis, geralmente se faz a abertura do arco tocando o eletrodo na peça e estabelecendo um “curto-circuito” momentâneo. Na soldagem GTAW isto não é recomendado, pois pode favorecer a transferência de tungstênio para a peça, além de danificar o eletrodo, que geralmente é apontado antes do início da operação.

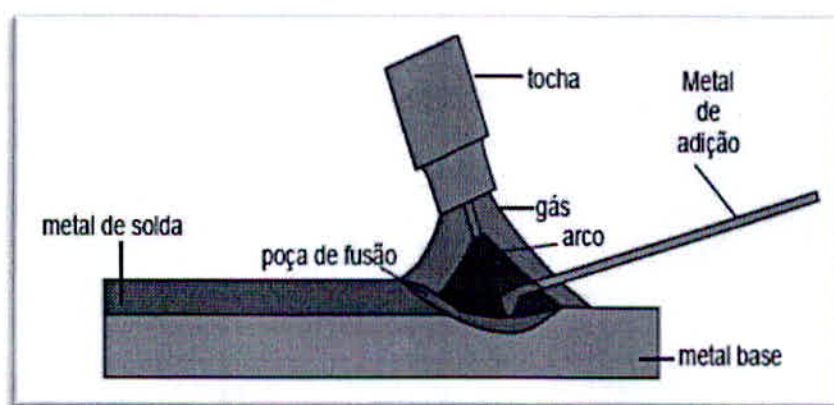
Vários dispositivos podem ser usados para permitir o início do arco de forma conveniente, como uso de um arco-piloto, de um “ignitor de alta frequência” e controle da corrente inicial. Arco-piloto necessita de eletrodo e fonte de corrente secundários e é pouco usado. Rampa de corrente é usada apenas em fontes eletrônicas e permite a abertura com toque do eletrodo na peça, mas com uma corrente inicial bastante reduzida, de uns poucos ampères, insuficiente para permitir sua fusão e transferência para a peça. Após a abertura, a corrente no arco é elevada até o valor de operação selecionado. Já o ignitor de alta frequência é um aparelho que gera, superposto à corrente de soldagem, um sinal de alta tensão e de alta frequência, com valores em torno de 3 KV e 5 KHz, que produz a ionização da coluna de gás entre o eletrodo e a peça, permitindo a abertura do arco com baixas tensões na fonte de soldagem, da ordem de 60 a 80 V. Apesar de ser de alta tensão, este sinal é de baixíssima potência e não oferece perigo para o operado (MARQUES, 2009).

É recomendável que se inicie a vazão de gás alguns segundos antes da abertura do arco. Este tempo é denominado “pré-purga”, a seguir, deixa-se a tocha posicionada por um certo tempo para que haja a formação da poça de fusão. Quando esta atinge um volume ou tamanho

adequado, inicia-se o movimento de avanço da tocha ao longo da junta, se for o caso, faz-se o movimento de tecimento e a adição de metal.

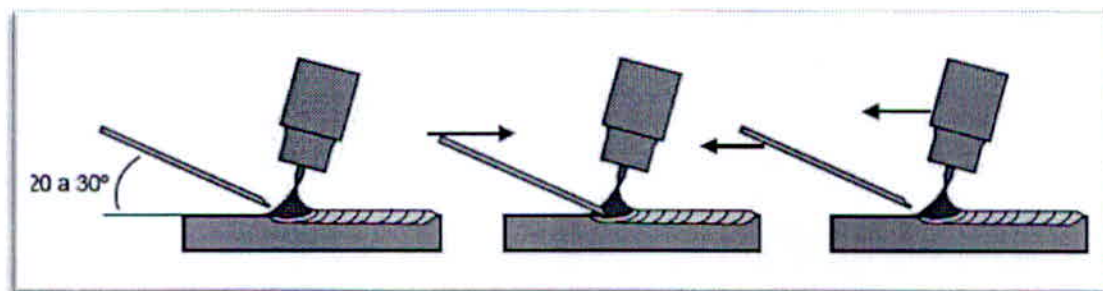
Lembrando que a adição de metal é feita na poça de fusão tomando-a pela frente da poça, com a vareta ou arame formando um ângulo em torno de 15° em relação a peça, a figura 200 e 211 ilustra o desenvolvimento da soldagem GTAW (MARQUES, 2009).

Figura 20 – Técnicas de desenvolvimento da soldagem GTAW



Fonte: SENAI, 2004

Figura 21 – Técnicas para adição de metal na soldagem GTAW



Fonte: SENAI, 2004

Ao final da junta, faz-se a extinção do arco, mantendo ainda a tocha sobre a última parte soldada, para que ocorra o fluxo de gás por um tempo de até 30 segundos, conhecido como “pós-purga” para realizar a proteção final do cordão (MARQUES, 2009)

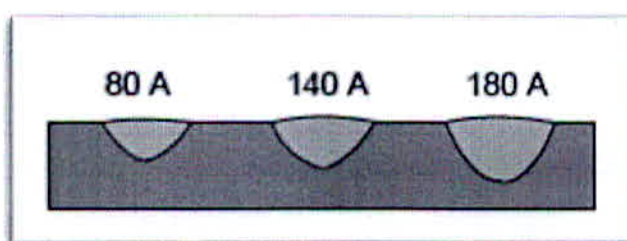
As principais variáveis de soldagem são: o comprimento do arco, a corrente, a velocidade de avanço e a vazão do gás de proteção.

O comprimento do arco é a distância ente a ponta do eletrodo e a superfície do metal de base. Sabendo que a fonte de energia para soldagem GTAW é do tipo corrente constante, para uma dada corrente de soldagem e gás de proteção, a tensão do arco aumenta com o aumento do

comprimento do arco. Em geral, quanto maior o comprimento do arco, mais raso e largo é o cordão de solda. Arcos muito curtos ou muito longos tendem a ser instáveis, o que favorece a formação de descontinuidades como porosidade, inclusões, falta fusão e mordeduras. O ideal para o comprimento do arco varia entre 3 a 7 mm de acordo com a corrente e diâmetro do eletrodo.

A corrente de soldagem é selecionada diretamente na fonte de energia, conforme já citado em parágrafos anteriores. Lembrando que quanto maior a corrente, maior será a penetração e a largura do cordão, conforme ilustra a figura 22 seguinte.

Figura 22 – Penetração da solda em função da corrente de soldagem.



Fonte: SENAI, 2004

A largura e a penetração do cordão tendem a diminuir com o aumento da velocidade de soldagem. De uma maneira geral, quanto maior a velocidade da soldagem, melhor a eficiência e a produtividade da operação, com conseqüente redução de custo por unidade de comprimento de solda produzida. Entretanto velocidades de soldagem exageradas podem introduzir descontinuidades no cordão, como falta de fusão, falta de penetração e mordeduras.

A vazão do gás de proteção influencia diretamente na qualidade do cordão. Vazão muito baixa resulta em falta de proteção, que pode levar à oxidação do cordão de solda, formação de porosidade etc. Por outro lado de análise, vazão elevada, em geral, não problema, mas encarece o custo da operação. Vazão muito elevada pode causar turbulência no fluxo de gás e pode arrastar o gás da atmosfera para junto da solda, resultando em efeitos semelhantes a vazão muito baixa. Assim, uma regra prática para se determinar a vazão ideal numa dada situação é fazer um teste, iniciando com uma vazão elevada e ir diminuindo gradativamente, até que se inicie a oxidação superficial do cordão de solda. Uma vazão ligeiramente superior a esta última é a ideal (MARQUES, 2009).

O bocal da tocha para o gás de proteção está diretamente ligado ao diâmetro do eletrodo e pode sugerir uma vazão para o gás de proteção, conforme podemos acompanhar na tabela 13

Tabela 13 – Número do bocal em função do diâmetro do eletrodo de tungstênio.

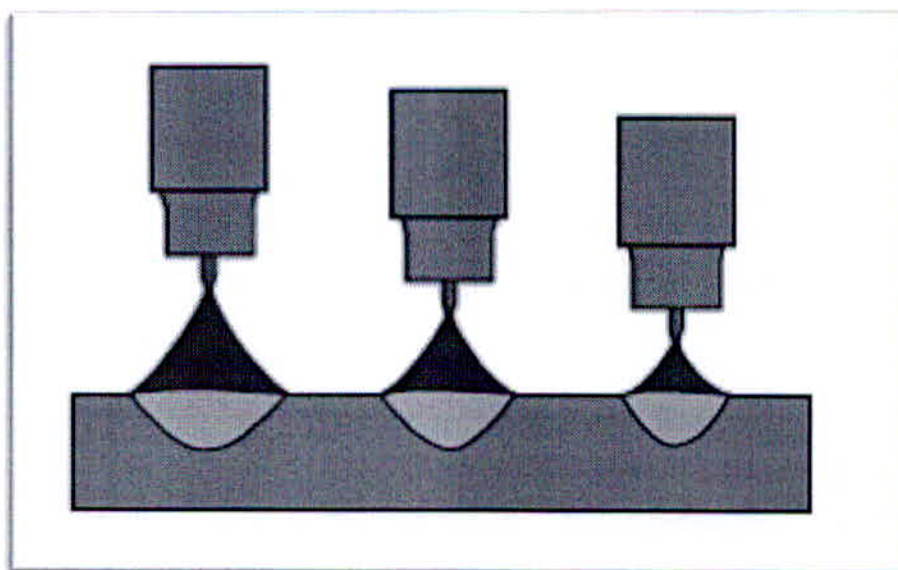
Material: Alumínio e suas ligas – Soldagem com corrente alternada e uso de alta frequência com proteção gasosa de argônio puro.		
Diâmetro do eletrodo em mm	Número do bocal (*)	Vazão do gás (L/min)
1,6	4 - 6	7
2,4	6 - 7	8
3,2	7 - 8	10
4,8	8 - 12	12
6,4	10 - 12	14

Nota: (*) O número do bocal está relacionado com o seu diâmetro; cada unidade da escala representa o equivalente a 3,2 mm.

Fonte: BRANDI, 1992

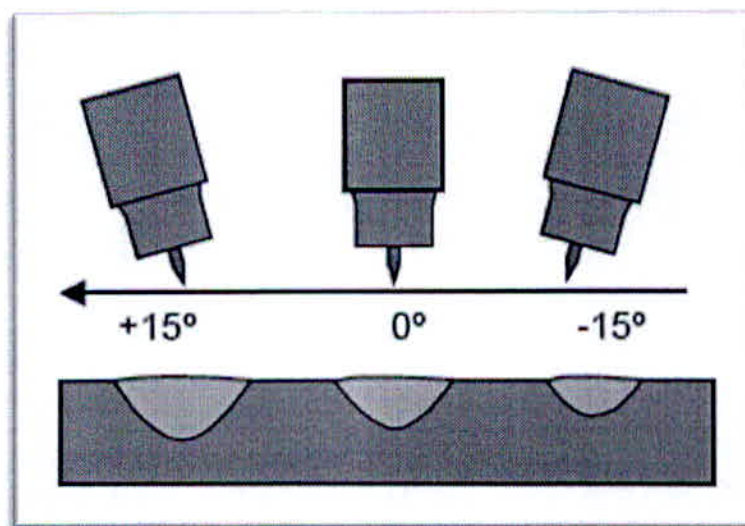
Outras variáveis da soldagem GTAW com influência secundária dentro de certos limites são: a distância do bocal até a peça e os tempos de pré e pós-purga de gás e a inclinação da tocha de soldagem. A figura 23 mostra a influência da distância do bocal até a peça em uma solda e a figura 24 mostra a influência da inclinação e sentido de deslocamento da tocha de soldagem (SENAI Varginha / MG – 2004).

Figura 23 – Influência da distância do eletrodo – peça no perfil do cordão de solda.



Fonte: SENAI, 2004

Figura 24 – Influência da inclinação da tocha na penetração da solda.



Fonte: SENAI, 2004

Observação: Na soldagem do alumínio e suas ligas recomenda trabalhar com inclinação negativa (empurrando a tocha).

A escolha dos parâmetros para uma soldagem é feita em função do material a ser soldado, da espessura das peças, da posição de soldagem e dos equipamentos disponíveis, bem como a decisão de uso ou não de metal de adição (MARQUES, 2009).

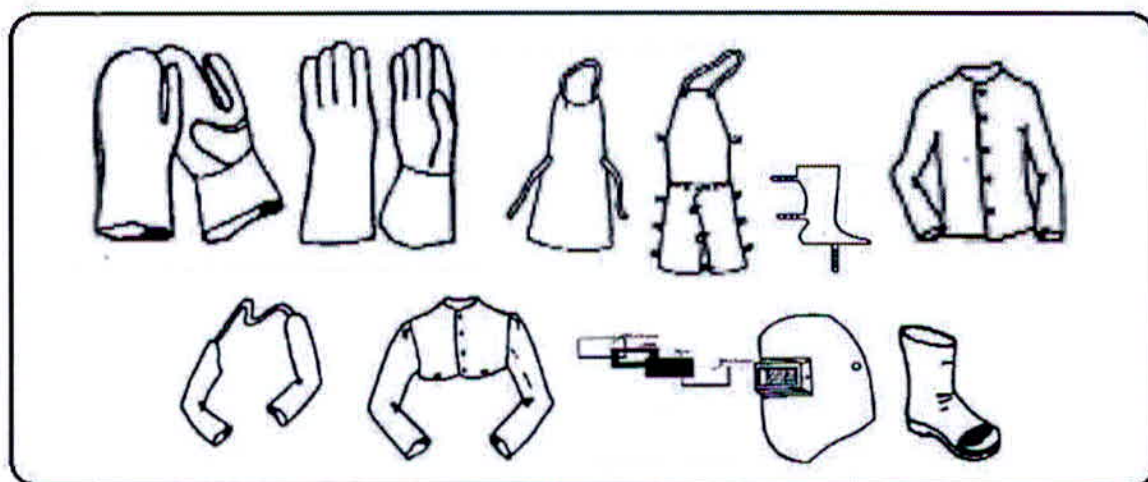
Conforme apresentado anterior a regulagem da vazão de gás, a regulagem da corrente e todos os outros fatores de regulagem são determinados através de testes iniciais em chapa teste com mesma configuração da chapa de projeto. Algumas regulagens podem ser encontradas em tabelas ou fórmulas, mas é importante lembrar que estas tabelas ou fórmulas foram resultados de testes executados por algum estudo de caso, e para uma execução correta terá que seguir os mesmos parâmetros que houve no estudo de caso, como se sabe, nem sempre é indicado “todos” os parâmetros, pois alguns dados são quase impossível de se medir, portanto a maneira correta de chegar nos valores de regulagem para executar uma boa solda, é realizar testes iniciais até que se chegue em um parâmetro que ofereça uma boa qualidade na solda, não se esquecendo dos cinco fatores que determinam uma boa solda, indicados no item técnicas operatórias anterior.

O anexo B, apresenta as tabelas 14 e 15 que indicam alguns parâmetros de regulagem do processo de soldagem GTAW para a soldagem do alumínio e suas ligas.

5 EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO PARA SOLDAGEM

As imagens abaixo ilustradas pela figura 25 mostra alguns equipamentos utilizados para a proteção do soldador para garantir além da qualidade da solda, sua boa saúde física. Os equipamentos são: luvas, avental, perneira e blusão ou mangote, todos sendo de raspa de couro ou couro de vaqueta, para a proteção contra radiação, calor e respingos, também é utilizado o capacete de solda fabricado de fibra especializada para a proteção da cabeça e dos olhos, podendo ser automático (com visor de cristal líquido, o qual quando não está sob efeito das radiações do arco ele é transparente, após o arco ele escurece em milésimos de segundo automaticamente) ou simples, sendo que o filtro de vidro escuro deve ser especificado segundo a amperagem de trabalho. É também de uso obrigatório a botina ou causado de segurança, que fará a proteção dos pés e também contra choques elétricos por possuir solado isolante,

Figura 25 – Equipamentos de proteção individual para soldagem



Fonte: Dados particulares do autor do trabalho.

6 METODOLOGIA

Todo trabalho foi desenvolvido com base em literaturas retiradas de livros específicos de soldagem GTAW, sobre alumínios e teses referentes a utilização do alumínio da série 5XXX e normas de soldagens, que propõem parâmetros e discussões distintas para a coalescência da liga de alumínio, onde teve desenvolvimento de testes de soldagens e análises finais em chapas planas chanfradas ou não com espessuras variadas entre 3 a 8 mm utilizando diversos parâmetros de regulagem de máquinas para que possa ser feito uma comparação e apresentação das características que indicam os melhores métodos para a execução da coalescência do alumínio.

A intenção final é observar todos os métodos utilizados e agrupá-los em forma de tabelas e exemplos de fácil entendimento para que possa auxiliar futuras pesquisas e trabalhos de soldagem dos alumínios.

A seguir encontra-se figuras referentes as montagens, testes e operações de soldagem do alumínio da série 5000 e 5052, os quais foram utilizados durante execução do trabalho.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Soldagem GTAW manual

Fonte de energia com alta frequência para abertura de arco

Tocha Oxi Mig, sem utilização de gás lens; vazão de gás: 10 l/min; diâmetro de bocal nº. 7

Gás argônio puro

Ligação elétrica: Corrente alternada

Consumíveis: 3556 / 4043 / 5356 – Diâmetros 2,4 mm

Eletrodos: Ponta verde = Tungstênio puro

Ponta Vermelha = Tungstênio com 2% de Tório

Ponta azul = Tungstênio com 2% de Lantânio

Ponta Amarela = Tungstênio com 1,5% de Lantânio

Corrente: Conforme tabela 14 e 15 – com ajustes proporcionais

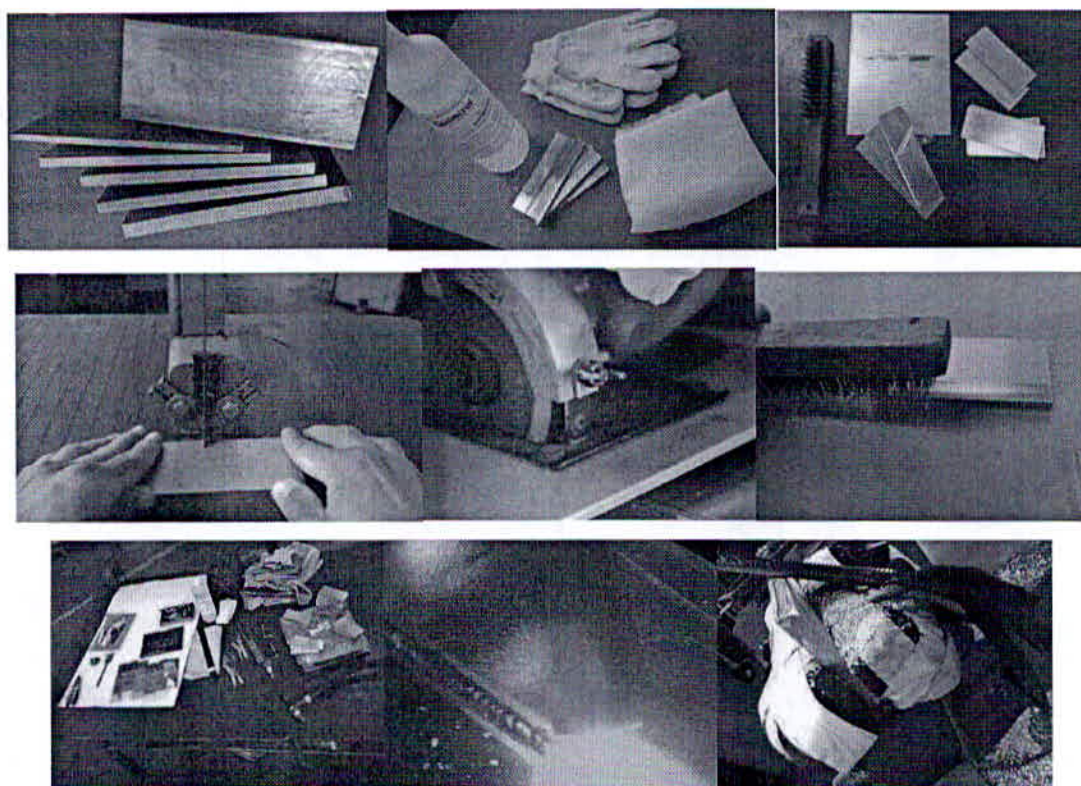
Afiação: Dupla cônica / Cônica / Esférica

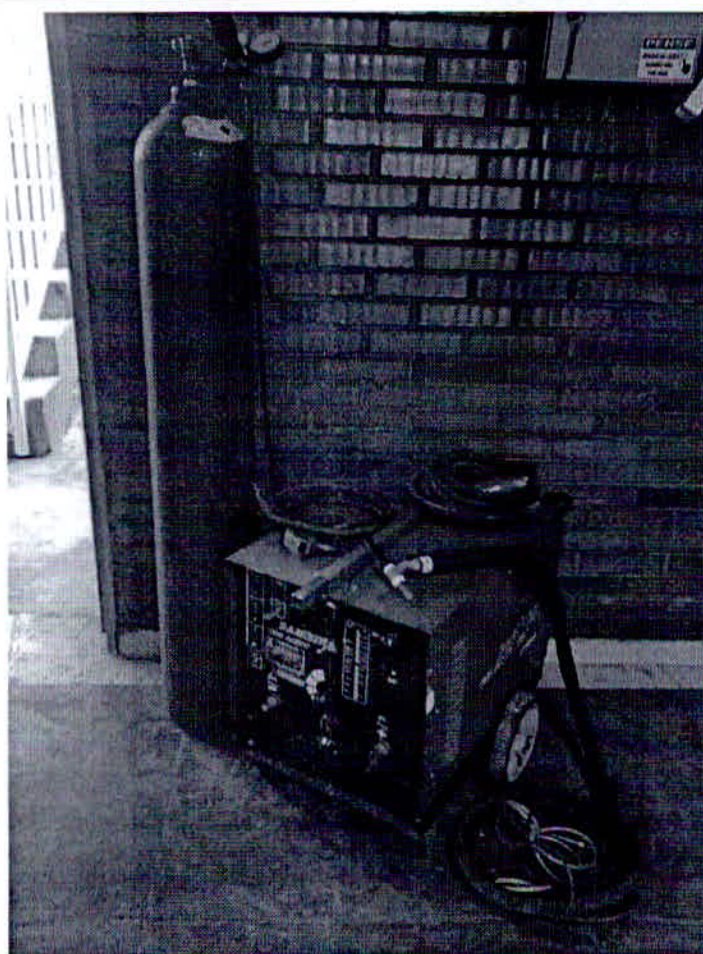
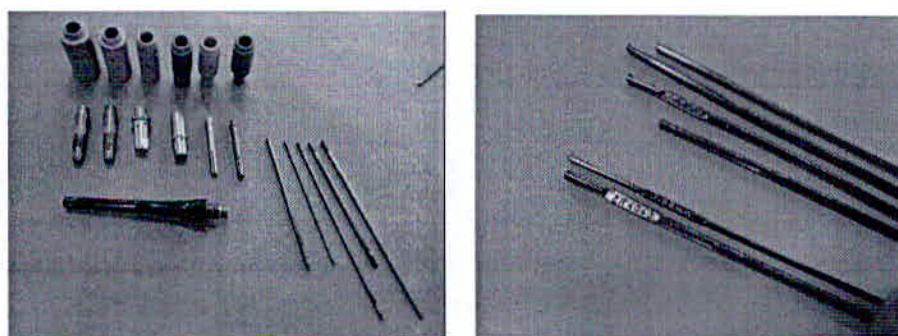
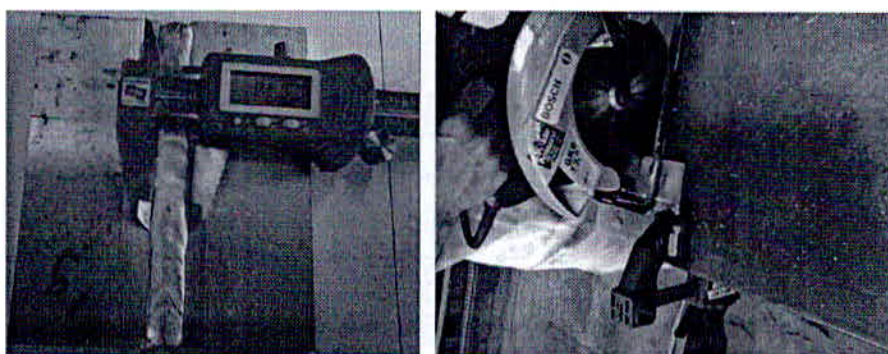
Tecimento: Contínua / Circular

Espessuras: 2,4 mm / 3 mm / 5 mm / 8 mm

Chanfro: Reto / Em V 60°

Fotos de práticas desenvolvidas.





Fonte: Foto tirada pelo autor – 20/10/2015

8 CONCLUSÃO

Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de apresentar os alumínios da série 5XXX e suas principais características; conceituar e apresentar os principais componentes utilizados na soldagem GTAW para avaliar a solda do alumínio em especial os alumínios 5000 e 5052, utilizando os eletrodos de tungstênio puro e o com 2% de lantânio para a transferência do arco elétrico determinando as melhores características para a coalescência.

O problema sugerido ao início do trabalho em como soldar os alumínios 5000 e 5052 de forma que os mesmos apresentem penetração e largura de solda ideal a espessura do metal de base, mantendo um bom acabamento e garantindo a qualidade da solda sem alterar as propriedades do alumínio são concluídos através de parâmetros e métodos específicos para soldagem apresentados no trabalho, de maneira que se for levado em consideração todos os itens e sub itens, qualquer soldador que venha necessitar de realizar uma solda ou solucionar uma dúvida, poderá recorrer a este trabalho como material de apoio, sendo uma fonte confiável tendo referências padronizadas e bem indicadas.

Concluimos neste trabalho que para fazer uma solda simples com o processo GTAW, podemos deixar de lado alguns elementos da soldagem, mais quando o material exige, devemos considerar todos os itens que favorecem para a soldagem e considerarmos situações desde a armazenagem até o ponto da soldagem tendo os devidos cuidados em cada etapa apresentada.

Concluimos que o alumínio desta série é um alumínio ligado com magnésio o qual se da sua resistência e qualidade para se destacar dentre outros materiais, os alumínios 5000 e 5052 são materiais que foram usados inicialmente na construção naval, área que exige muito dos materiais de construção e são materiais de grande resistência e bom acabamento, os quais estão atualmente ganhando o mercado.

Devido ao fato dos alumínios exigirem parâmetros e métodos específicos para soldagem, os quais evoluem cada vez mais e os soldadores necessitarem de habilidades para o desenvolvimento da soldagem e nem sempre encontrarem os materiais de apoio necessários foi desenvolvido este trabalho para servir como material de apoio aos profissionais da área de soldagem, reunindo o trabalho em uma ordem simples e objetiva para o desenvolvimento destas ligas de alumínio, apresentando vários métodos para a soldagem.

Quanto ao eletrodo de tungstênio, podemos concluir que existem vários tipos de eletrodos para a soldagem, sendo cada eletrodo mais indicado para uma certa atividade, porém todos podem exercer as mesmas atividades oferecendo uma pequena diferença de resultado, os quais podem ser aceitáveis ou não. O alumínio é um material que exige a soldagem com corrente

alternada conforme o trabalho apresentado, e para esta atividade podemos acompanhar que os eletrodos recomendados para esta finalidade são os eletrodos puros, os com lantânio, os com cério e os com zircônio, onde no trabalho foi realizado testes e concluindo que os eletrodos com 2% de lantânio são mais recomendados para atividades que envolvem maiores intensidade de corrente elétrica do que os famosos eletrodos puros que também são muito utilizados para esta finalidade, esta conclusão se deu maior destaque a partir dos testes realizados que demonstraram que os eletrodos puros se volatizaram com mais facilidade que os com 2% de lantânio e suas afiações se perderam rapidamente necessitando de novas afiações com mais frequência, dando vantagem aos eletrodos com 2% de lantânio que mesmo sendo de diâmetros diferentes dos recomendados não necessitam de afiação com frequência, oferecendo maior penetração a soldagem e um excelente acabamento para a solda.

Sabendo que muitos ainda utilizam os eletrodos de ponta verde para a soldagem do alumínio, este trabalho apresenta conclusões que favorecem o eletrodo de ponta azul, mas também não exclui os outros eletrodos, principalmente o de ponta verde. Podemos concluir que este último é um excelente eletrodo para trabalho em alumínio, mais que exige maior cuidado com sua afiação que se perde com facilidade, portanto é muito recomendado que seja utilizado este último em espessuras abaixo de 3 mm, já os eletrodos com ponta azul podem ser utilizados em todas as espessuras.

9 REFERÊNCIAS

ALCAN. **Manual de soldagem**. São Paulo, 1993. (Apostila).

BRANDI, Sérgio Duarte. Classificação dos processos de soldagem . In: WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt Homem de (coord.). **Soldagem: processos e metalurgia**. São Paulo : Edgard Blucher, 1992. p. 1-8.

FONSECA, Ademir Soares da. **Soldagem TIG** Varginha: [s.n] 2004. 29 p.

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo J; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. 3. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2009. 362 p.

Unofficial Honda and acura tech resource.**Honda-Tech.com**.acesso: 07/10/2015-19:03

Norma **DIN EN 26848:1991-10**; codificação da norma ISO 6848:1984 – Acesso em 15/06/2009.

www.abs-soldagem.org.br/centraladm/docs/revistas/Questoes%20Tecnicas.pdf – Acesso em 07/10/2015 – 19:20