

Universidade Federal de Minas Gerais.  
Escola de Engenharia.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

# Processo de Soldagem com Chama Oxi-gás - OFW.

Disciplina: Processo de Soldagem.

Professor: Alexandre Queiroz Bracarense, PhD.

Belo Horizonte

Maio de 2000.

# PROCESSO DE SOLDAGEM COM CHAMA OXÍ-GÁS - OFW

## 1. Fundamentos do Processo

A Soldagem Oxigás (OFW) inclui qualquer operação que usa a combustão de um gás combustível com oxigênio como meio de calor. O processo envolve a fusão do metal base e normalmente de um metal de enchimento, usando uma chama produzida na ponta de um maçarico. O gás combustível e o oxigênio são combinados em proporções adequadas dentro de uma câmara de mistura. O metal fundido e o metal de enchimento, se usado, se misturam numa poça comum e se solidificam ao se resfriar.

Uma vantagem deste processo é o controle que o soldador exerce sobre o calor e a temperatura, independente da adição de metal. O tamanho do cordão, a forma e a viscosidade da poça são também controlados no processo. OFW é adequado para operações de conserto, para soldagem de tiras finas, tubos e tubos de pequeno diâmetro. Soldar seções espessas, exceto para trabalho de conserto, não é economicamente viável quando comparada com outros processos disponíveis.

O equipamento usado em OFW tem um custo baixo, é normalmente portátil e versátil o bastante para ser usado para uma variedade de operações, tais como dobramento, retificação, pré-aquecimento, pós-aquecimento, deposição superficial, brazagem e soldabrazagem (estes dois últimos serão discutidos em detalhes posteriormente).

Acessórios de corte, bicos para multichama e uma variedade de acessórios para aplicações especiais aumentam a versatilidade do equipamento. Com mudanças relativamente simples, operações de corte manuais e mecânicas podem ser realizadas. Aços carbono e de baixa liga e muitos metais não ferrosos (não refratários ou reativos) são normalmente soldados.

Gases comerciais têm uma propriedade em comum, ou seja, requerem sempre oxigênio para sustentar a combustão. Um gás, para ser conveniente às operações de soldagem, deve apresentar as seguintes propriedades quando queimado:

1. Alta temperatura de chama.
2. Alta taxa de propagação de chama.
3. Conteúdo de calor suficiente.
4. Mínimo de reação química da chama com os metais base e de enchimento.

Dentre os gases comercialmente disponíveis, o acetileno é o que mais se aproxima destes requisitos. Outros gases como propano, gás natural, propileno e gases baseados nestes, oferecem temperaturas de chama suficientemente altas, mas exibem baixas taxas de propagação de chama. Neste caso as chamas finais são excessivamente oxidantes pelas proporções de oxigênio/gás combustível que são altas o suficiente para gerar taxas de transferência de calor utilizáveis.

## 2. Características dos gases de combustão

A Tabela 1 lista algumas das principais características de gases comerciais. A fim de reconhecer o significado das informações nesta tabela, é necessário entender alguns termos e conceitos.

Tabela 1 – Características de gases combustíveis comuns.

Gás	Fórmula	G.E. (Ar=1 à 15.6°C)	V.E. (m <sup>3</sup> /kg)	R. E.	T <sub>chama</sub> (°C)	Calor de Combustão		
						1°	2°	total
						MJ/m <sup>3</sup>	MJ/m <sup>3</sup>	MJ/m <sup>3</sup>
Acetileno	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	0.906	0.91	2.5	3087	19	36	55
Propano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	1.52	0.54	5.0	2526	10	94	104
Metil Acetileno Propadieno (MPS)	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>	1.48	0.55	4.0	2927	21	70	91
Propileno	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	1.48	0.55	4.5	2900	16	73	89
Metano	CH <sub>4</sub>	0.62	1.44	2.0	2538	0.4	37	37
Hidrogênio	H <sub>2</sub>	0.07	11.77	0.5	2660	-	-	12

Obs: G.E. = Gravidade específica; V. E. = Volume específico; R. E. = Razão estequiométrica.

### 2.1. Gravidade Específica

A gravidade específica de um gás, com referência ao ar, indica como o gás pode acumular em caso de vazamento. Por exemplo, gases com uma gravidade específica menor que o ar tendem a subir e podem juntar-se nos cantos superiores e no teto. Aqueles gases com gravidade específica maior que o ar tendem a se acumular em áreas baixas e quietas.

### 2.2. Volume Específico

Uma quantidade específica de gás a uma temperatura e pressão padrão pode ser descrita pelo seu volume ou peso. Os valores mostrados na Tabela 1 fornecem o volume específico a 15.6° C e sob pressão atmosférica. Se conhecermos o peso e o multiplicarmos pelo valor da tabela, teremos o volume e vice-versa.

### 2.3. Razão de Combustão ou Estequiométrica

A Tabela 1 indica o volume de Oxigênio teoricamente requerido para a combustão completa de cada gás. Estas razões Oxigênio/gás combustível (chamadas de estequiométricas) são obtidas do balanço químico das equações dadas na Tabela 2. Os valores mostrados para combustão completa são úteis para cálculos. Porém, eles não representam a razão Oxigênio/gás combustível normalmente liberada na operação do maçarico, porque, a combustão completa é parcialmente sustentada pelo Oxigênio do ar das vizinhanças.

### 2.4. Calor de Combustão

O calor total de combustão de um hidrocarboneto é a soma dos calores gerados nas reações primária e secundária que acontecem na chama global. Isto está mostrado na Tabela 1. Normalmente, o conteúdo de calor da reação primária é gerado na chama interna ou primária, onde a combustão é sustentada pelo Oxigênio fornecido pelo maçarico. A reação secundária acontece na chama externa ou secundária, que envolve a primária, e é onde os produtos de combustão da reação primária são sustentados pelo Oxigênio do ar.

<b>Gás Combustível</b>	<b>Reação com Oxigênio</b>
Acetileno	$C_2H_2 + 2.5 O_2 \rightarrow 2 CO_2 + H_2O$
Metilacetileno-propadieno (MPS)	$C_3H_4 + 4 O_2 \rightarrow 3 CO_2 + 2 H_2O$
Propileno	$C_3H_6 + 4.5 O_2 \rightarrow 3 CO_2 + 3 H_2O$
Propano	$C_3H_8 + 5 O_2 \rightarrow 3 CO_2 + 4 H_2O$
Gás Natural ( Metano )	$CH_4 + 2 O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2O$
Hidrogênio	$H_2 + 0.5 O_2 \rightarrow H_2O$

Embora o calor da chama secundária seja importante em várias aplicações, o calor mais concentrado da chama primária é a principal contribuição para a capacidade de soldagem de um sistema a oxigás. A chama primária é dita neutra quando a equação da reação primária está balanceada, fornecendo apenas Monóxido de Carbono e Hidrogênio. Sob estas condições, a atmosfera da chama primária não é nem carburizante nem oxidante.

Desde que a reação secundária depende necessariamente dos produtos finais da reação primária, o termo **neutro** serve como um ponto de referência conveniente para (1) descrever as razões de combustão e (2) comparar os vários calores característicos de diferentes gases combustíveis.

### **2.5. Temperatura da Chama**

A temperatura da chama de um gás combustível variará de acordo com a razão de Oxigênio a ser queimado. Embora a temperatura da chama dê uma indicação da capacidade de aquecimento do gás combustível, ela é apenas uma das muitas propriedades físicas a considerar se fizermos uma avaliação global.

As temperaturas de chama listadas na Tabela 1 são para as chamadas chamas neutras, i.e., a chama primária que não é nem oxidante nem carburizante. Temperaturas maiores que as listadas na tabela podem ser encontradas, mas, em todo o caso, aquela chama será oxidante, uma condição indesejável na soldagem de muitos metais.

### **2.6. Velocidade de Combustão**

Uma propriedade característica de um gás combustível, sua velocidade de combustão (taxa de propagação da chama) é um fator importante no calor produzido pela chama oxigás. Esta é a velocidade na qual a chama viaja através do gás adjacente não queimado. Ela influencia o tamanho e a temperatura da chama primária. Também afeta a velocidade na qual os gases podem escoar do bico do maçarico sem causar o afastamento da chama ou seu "engolimento". O afastamento da chama ocorre quando a combustão acontece em alguma distância longe da extremidade do maçarico ao invés de acontecer na extremidade. O engolimento é o recuo momentâneo da chama para dentro do maçarico, seguido pela reaparição ou completa extinção da chama.

Como mostra a Figura 1, a velocidade de combustão de um gás combustível varia de maneira característica de acordo com as proporções de Oxigênio e combustível na mistura.

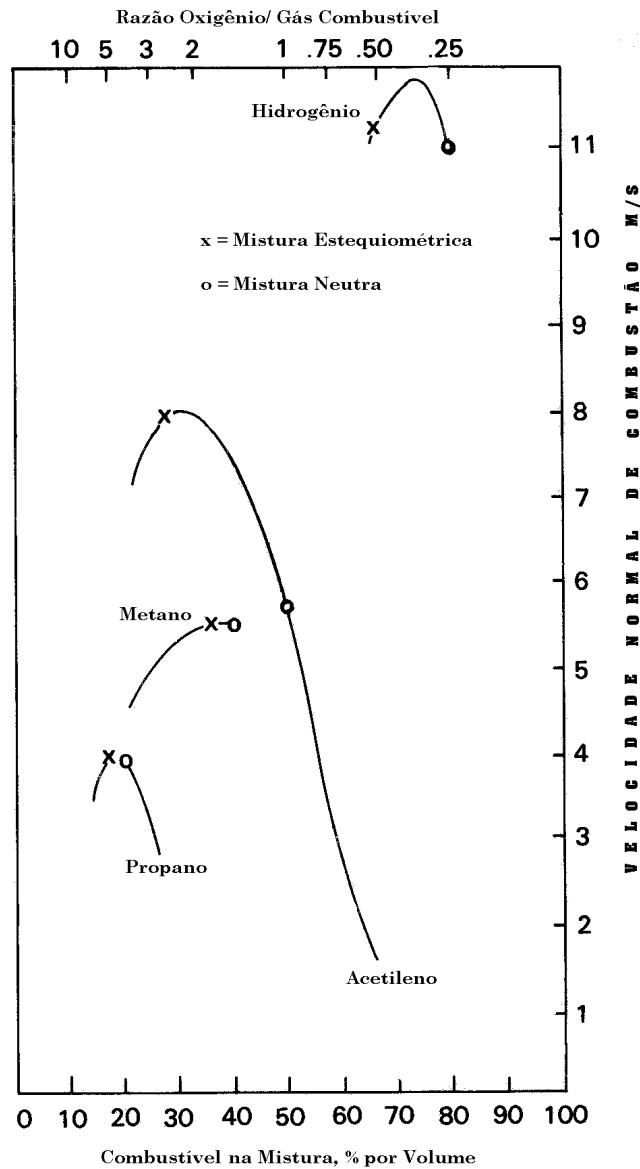


Figura 1 – Velocidade normal de combustão da mistura de vários gases com oxigênio.

## 2.7. Intensidade de Combustão

Temperaturas de chama e os valores de aquecimento de combustíveis têm sido usados quase exclusivamente como critério para avaliação dos gases. Estes dois fatores sozinhos, entretanto, não fornecem informação suficiente para uma completa avaliação dos gases para fins de aquecimento. Um conceito conhecido como *intensidade de combustão* é usado para avaliar diferentes combinações Oxigênio/gás combustível. A intensidade de combustão considera a velocidade de queima da chama, o valor de aquecimento da mistura de Oxigênio e gás combustível e a área do cone da chama fluindo pelo bico.

A intensidade de combustão pode ser expressa como segue:

$$C_i = C_v \cdot C_h \quad (1)$$

$C_i$  = intensidade de combustão em Btu/pés<sup>2</sup>.s ( J/ m<sup>2</sup>.s)

$C_v$  = velocidade normal de combustão da chama em pés/s (m/s)

$C_h$  = valor de aquecimento do gás de mistura em consideração em Btu/pés<sup>3</sup> (J/m<sup>3</sup>)

A intensidade de combustão ( $C_i$ ), portanto, é máxima quando o produto da velocidade normal de combustão da chama ( $C_v$ ) e o valor de aquecimento do gás de mistura ( $C_h$ ) é máximo. Como o calor de combustão, a intensidade de combustão de um gás pode ser expressa como a soma das intensidades de combustão das reações primária e secundária. Entretanto, a intensidade de combustão da chama primária, localizada próxima do bico do maçarico, é da maior importância na soldagem. A intensidade de combustão secundária influencia o gradiente térmico nas proximidades da solda.

A Figura 2 mostra a intensidade de combustão total para os mesmos gases. Esta curva mostra que, para os gases em questão, o Acetileno produz a maior intensidade de combustão.

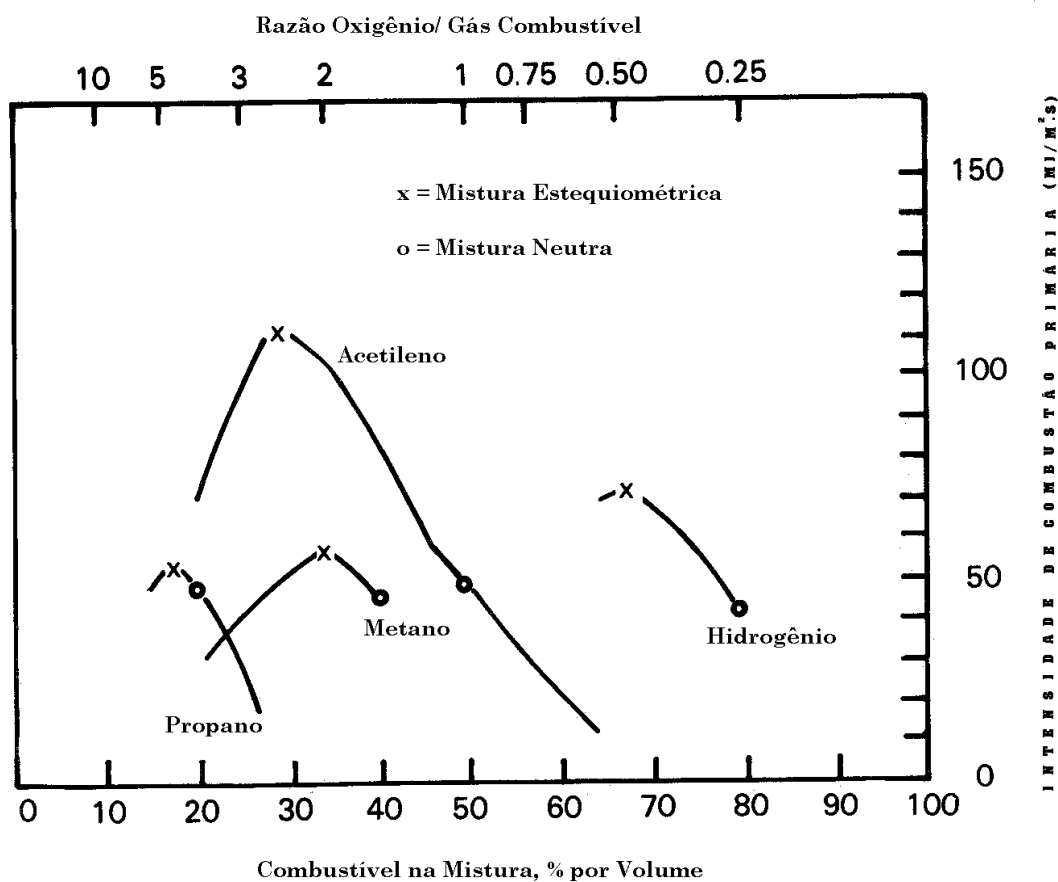


Figura 2 - Intensidade Total de Combustão.

### 3. O gás combustível acetileno

Acetileno é o combustível escolhido para a soldagem por causa da sua alta intensidade de combustão, enquanto os outros gases são raramente usados para soldagem. Acetileno é um hidrocarboneto composto,  $C_2H_2$ , que contém maior porcentagem de Carbono por peso do que qualquer dos outros hidrocarbonetos. É incolor e mais leve que o ar e tem

um cheiro parecido com alho. Acetileno contido em cilindros é dissolvido em acetona e portanto tem um cheiro levemente diferente daquele Acetileno puro.

Para temperaturas acima de 780° C ou pressões acima de 30 psig, Acetileno gasoso é instável e pode se decompor até mesmo na ausência de Oxigênio. Esta característica tem sido levada em consideração na preparação de um código de práticas de segurança para geração, distribuição e uso de gás de acetileno. A prática de segurança aceitável é nunca usar Acetileno em pressões que excedam 15 psig (103 kPa) em geradores, tubulações ou mangueiras.

### **3.1. A Chama Oxiacetilênica**

Teoricamente, a combustão completa do Acetileno é representada pela equação química:

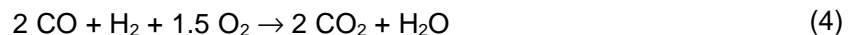


Esta equação indica que um volume de Acetileno e 2.5 volumes de Oxigênio reagem para produzir 2 volumes de gás carbônico e 1 volume de vapor d'água. A razão volumétrica de Oxigênio para Acetileno é 2.5/ 1. Como observado mais cedo, a reação da equação (2) não se processa diretamente para os produtos finais mostrados. A combustão acontece em dois estágios. A reação primária acontece na zona interna da chama (chamada de cone interno) e é representada pela equação química:



Aqui, 1 volume de Acetileno e 1 volume de Oxigênio reagem para formar 2 volumes de Monóxido de Carbono e 1 volume de Hidrogênio. O conteúdo de calor e a alta temperatura (ver tabela 1) desta reação resultam na decomposição do Acetileno e na oxidação parcial do Carbono resultante daquela decomposição. Quando os gases que escoam do bico estão na proporção 1 para 1 indicada na equação (3), a reação produz o típico cone interno azul brilhante. Esta chama relativamente pequena gera a intensidade de combustão necessária para a soldagem. A chama é dita neutra porque não há excesso de Carbono ou Oxigênio para carburizar ou oxidar o metal.

Na parte externa que envolve a chama, o Monóxido de Carbono e o Hidrogênio produzidos pela reação primária queimam com o Oxigênio do ar da vizinhança. Isto forma Dióxido de Carbono e vapor d'água respectivamente, como mostra a reação secundária seguinte:

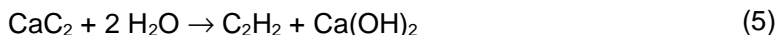


Embora o calor de combustão desta chama externa seja maior que o da interna, sua intensidade de combustão e temperatura são mais baixas por causa que a área da seção é maior. Os produtos finais são produzidos na chama externa porque não podem existir nas altas temperaturas do cone interno.

A chama oxiacetilênica é facilmente controlada por válvulas sobre o maçarico. Por uma leve mudança nas proporções de Oxigênio e Acetileno escoando através do maçarico, as características da zona interna da chama e a ação resultante do cone interno sobre o metal fundido pode ser variada em uma larga faixa. Assim, ajustando as válvulas do maçarico, é possível produzir uma chama neutra, oxidante ou carburizante.

### **3.2. Produção de acetileno**

O Acetileno é produto de uma reação química entre o Carbureto de Cálcio ( $\text{CaC}_2$ ) e água. Nesta reação, o Carbono do Carbureto combina com o Hidrogênio da água, formando Acetileno gasoso. Ao mesmo tempo o Cálcio combina com o Oxigênio e Hidrogênio para formar um resíduo de Hidróxido de Cálcio. A equação química é :



O Carbureto usado neste processo é produzido por cal fundida e coque num forno elétrico. Quando removido do forno e resfriado, o Carbureto é triturado, peneirado e embalado.

### **3.3. Cilindros de Acetileno**

Uma vez que o Acetileno livre, sob certas condições de pressão e temperatura, pode dissociar explosivamente em seus componentes Hidrogênio e Carbono, os cilindros de Acetileno são inicialmente envoltos com uma camada porosa. Acetona, um solvente capaz de absorver 25 vezes seu volume próprio de Acetileno por atmosfera de pressão, é adicionado à camada. Dissolvendo-se o Acetileno e dividindo o interior do cilindro em células pequenas, parcialmente separadas, dentro de uma camada porosa, é possível produzir um recipiente seguro cheio de Acetileno.

Cilindros de Acetileno são disponíveis em tamanhos contendo de 0.28 a 12 m<sup>3</sup> de gás. Os cilindros são equipados com plugs de segurança feitos de um metal que funde por volta de 100° C. Isto permite que o gás escape se o cilindro estiver sujeito ao calor excessivo, resultando em uma queima relativamente controlada ao invés de romper o cilindro.

## **4. Equipamento para soldagem oxí-acetilência**

O equipamento mínimo necessário para executar a soldagem está mostrado na Figura 3. Este equipamento é completamente auto-suficiente e relativamente barato. Ele consiste de cilindros de Oxigênio e gás combustível, cada um com regulador de pressão, mangueiras para conduzir os gases para o maçarico e uma combinação de maçarico e bico para ajuste da mistura gasosa e produção da chama desejada.

Cada uma destas unidades desempenha papel essencial no controle e aplicação do calor necessário para a soldagem. O mesmo equipamento básico é usado para brazagem e para muitas operações de aquecimento. Por uma simples substituição da combinação maçarico-bico, o equipamento é facilmente convertido para oxicorte manual. Desde que o equipamento é controlado pelo operador, ele ou ela devem estar completamente familiarizados com as capacidades e limitações do equipamento e com as normas de segurança.

### **4.1. Maçaricos**

Um maçarico típico consiste de um punho, um misturador e um bico montado. Ele fornece um meio de controle independente do fluxo de cada gás, um método de conectar uma variedade de bicos ou outros aparatos a punhos convenientes e possibilita o controle dos movimentos da chama. A Figura 4 ilustra esquematicamente os elementos básicos de um maçarico. Os gases passam pelas válvulas de controle, através de passagens separadas no punho, vão para o dispositivo misturador onde o Oxigênio e o gás são misturados, e finalmente saem por um orifício pela extremidade do bico. O bico é apresentado como sendo um tubo simples, estreito na extremidade para produzir um cone de soldagem adequado.



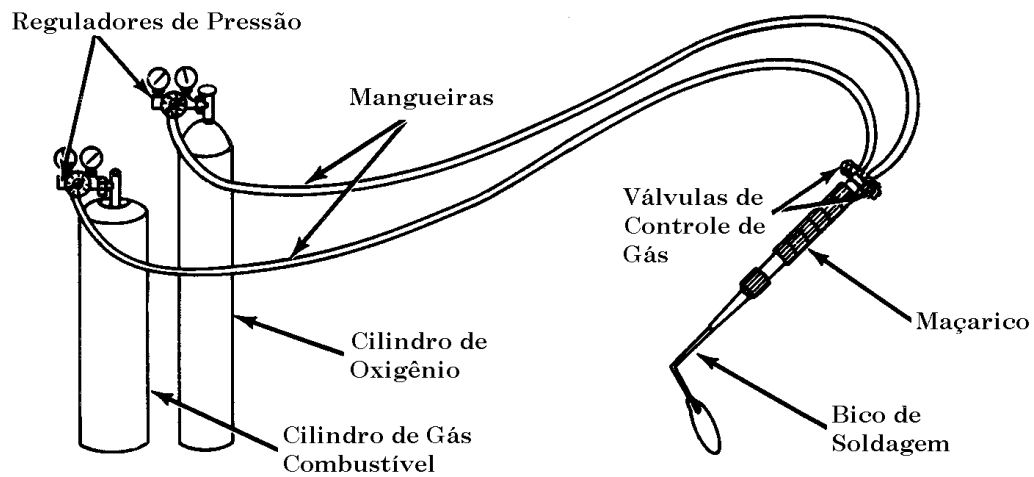


Figura 3 - Equipamento Básico para OFW.

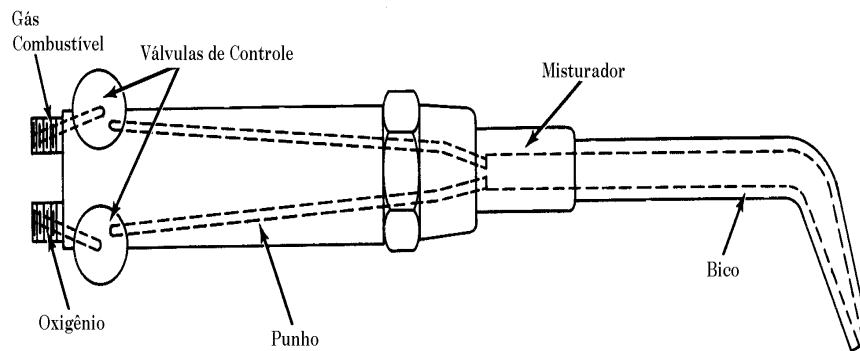


Figura 4 - Elementos Básicos de um Maçarico.

#### **4.2. Tipos de Punhos**

Punhos são fabricados numa variedade de estilos e tamanhos, de tamanho pequeno para trabalhos extremamente leves, até punhos para trabalhos extra pesados usados em operações de aquecimento localizado. Os punhos podem ser usados com uma variedade de misturadores e bicos, assim como bicos para fins especiais, acessórios de corte e bicos de aquecimento (ver Figura 5).

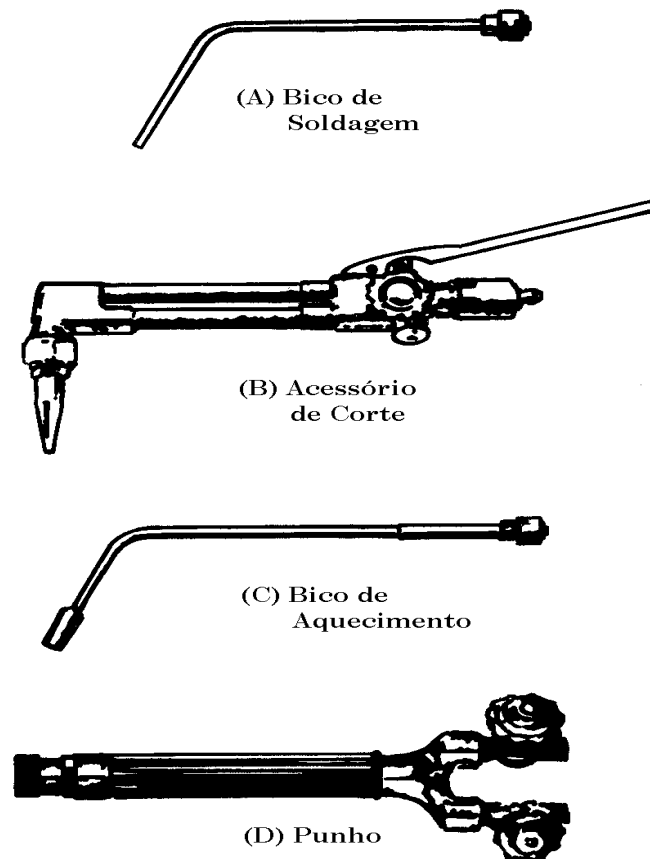


Figura 5 – Acessórios utilizados para operações OFW.

#### **4.3. Tipos de Misturadores**

Há basicamente dois tipos gerais de misturadores. Os mais comumente utilizados são os de pressão positiva (também chamados de média pressão) e os injetores (chamados de baixa pressão). Os misturadores de pressão positiva requerem que os gases sejam liberados para o maçarico em pressões acima de 2 psig (14 kPa). No caso de Acetileno, a pressão deve estar entre 2 e 15 psig (14 e 103 kPa). O Oxigênio é fornecido aproximadamente na mesma pressão. Não há, entretanto, limite restrito sobre a pressão de Oxigênio. Ela pode, e algumas vezes varia, até 25 psig (172 kPa) com os bicos maiores.

O objetivo do misturador do tipo injetor é aumentar a utilização efetiva dos gases fornecidos a pressões de 2 psig (14 kPa) ou menos. Neste maçarico, o Oxigênio é fornecido para pressões variando de 10 a 40 psig (70 a 275 kPa), o aumento da pressão combina com o tamanho do bico. A velocidade relativamente alta do fluxo de Oxigênio é usada para aspirar ou puxar mais gás que fluiria normalmente em baixas pressões.

Misturadores de gás vêm em vários estilos e tamanhos, de acordo com o projeto do fabricante. A função principal destas unidades é misturar o gás e o Oxigênio completamente para assegurar uma combustão suave.

O engolimento da chama ( *flashback* ) é o recuo da chama para dentro ou de volta para a câmara de mistura do maçarico. Em alguns casos, o engolimento viaja pela mangueira

Um misturador típico para um maçarico de pressão positiva é mostrado na Figura 6A. O Oxigênio entra por um canal central e o gás por diversos canais angulares para efetuar a mistura. A turbulência da mistura se reduz para um escoamento laminar quando o gás passa pelo bico.

Misturadores projetados para maçaricos injetores empregam o princípio do tubo de Venturi para aumentar o escoamento do gás. Neste caso (ver figura 6B), Oxigênio a alta pressão passa através de um pequeno canal central criando um jato de alta velocidade. O jato de Oxigênio cruza as aberturas dos canais angulares no ponto onde o tubo de venturi é restrito. Esta ação produz uma queda de pressão nas aberturas do gás combustível, fazendo com que a baixa pressão do fluxo de gás aumente com a passagem dos gases pela porção mais larga do venturi.

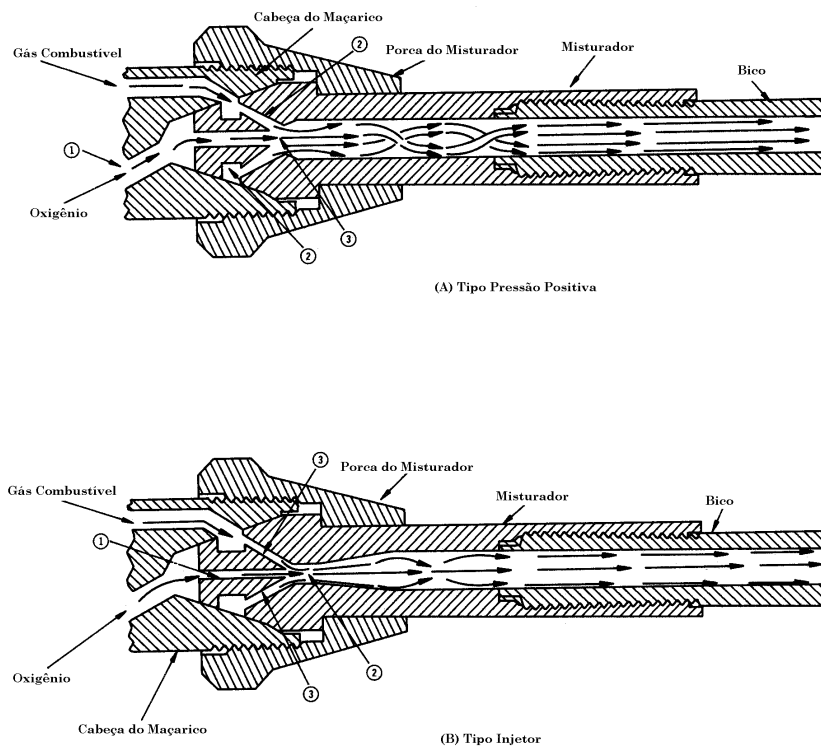


Figura 6 - Tipos de maçaricos e seus detalhes.

#### **4.4. Bicos de Soldagem**

O bico de soldagem é aquela porção do maçarico através da qual os gases passam antes da ignição e queima. O bico habilita o soldador a guiar a chama e dirigi-la para a peça com a máxima facilidade e eficiência. Bicos são feitos de metais não-ferrosos, tais como ligas de cobre, com alta condutividade térmica para reduzir o perigo de superaquecimento. O furo em ambos os tipos deve ser suave a fim de produzir o cone de chama requerido. A extremidade frontal do bico deve ser também modelada para permitir um uso fácil e proporcionar uma visão clara da operação.

Bicos são disponíveis em uma grande variedade de tamanhos, formas e construções. Dois métodos de combinação bico-misturador são empregados. Um bico especial pode ser usado para cada tamanho de misturador, ou um ou mais misturadores podem cobrir uma faixa inteira de tamanhos de bicos. No último método, o bico desatarrava do seu misturador e cada

tamanho de misturador tem uma medida de rosca particular para prevenir acoplamento impróprio.

Um misturador individual é usado para algumas classes de soldagem. Ele tem um “pescoço de ganso” no qual vários tipos de bicos podem ser enroscados. Desde que os bicos são feitos de ligas leves de Cobre, deve-se tomar cuidado para não danificá-los. As seguintes precauções devem ser observadas:

1. Os bicos devem ser limpos usando um limpador projetado para este fim.
2. Eles nunca devem ser usados para mover ou segurar a peça.
3. Os bicos, os misturadores e todas as superfícies vedantes devem ser mantidas limpas e em boas condições. Uma vedação pobre pode resultar em vazamentos, podendo ocorrer engolimento.

Quando uma série de bicos for selecionada para uma variedade de espessuras de metais, esta faixa coberta por um bico deve sobrepor levemente aquela coberta pelo próximo bico.

#### **4.4.1. Taxa de Fluxo Volumétrico**

O fator mais importante na determinação da utilidade de um bico é a ação da chama no metal. Se ela é muito violenta, ela pode soprar o metal para fora da poça de fusão. Sob tais condições, as taxas de fluxo volumétrico de Acetileno e Oxigênio devem ser reduzidas para uma velocidade na qual o metal possa ser soldado.

Bicos tendo uma extremidade encapada ou em forma de taça são disponíveis para gases com baixas velocidades de combustão, tais como propano. Estes tipos são usados normalmente para aquecimento, brazagem e solda branda.

#### **4.4.2. Cones de Chama**

O objetivo da chama é elevar a temperatura do metal ao ponto de fusão. Isto pode ser melhor executado quando a chama (ou cone) permite que o calor seja direcionado mais facilmente. Conseqüentemente, as características do cone tornam-se importantes. O fluxo laminar por linhas de corrente do gás através do comprimento do bico torna-se de extrema importância, especialmente durante a passagem pela porção frontal.

A alta velocidade que a chama do cone apresenta é uma prova real do gradiente de velocidades estendendo-se através do orifício circular quando o fluxo existente é laminar (Figura 7). Uma vez que a maior velocidade existe no centro da corrente, a chama no centro é mais longa. Similarmente, desde que a velocidade da corrente de gás é mais baixa próximo à parede onde o atrito é maior, aquela porção da chama é mais curta. Da análise dos princípios que fundamentam a formação do cone de chama, é possível entender as condições do fluxo que existem ao longo da última porção de gás no corredor do bico.

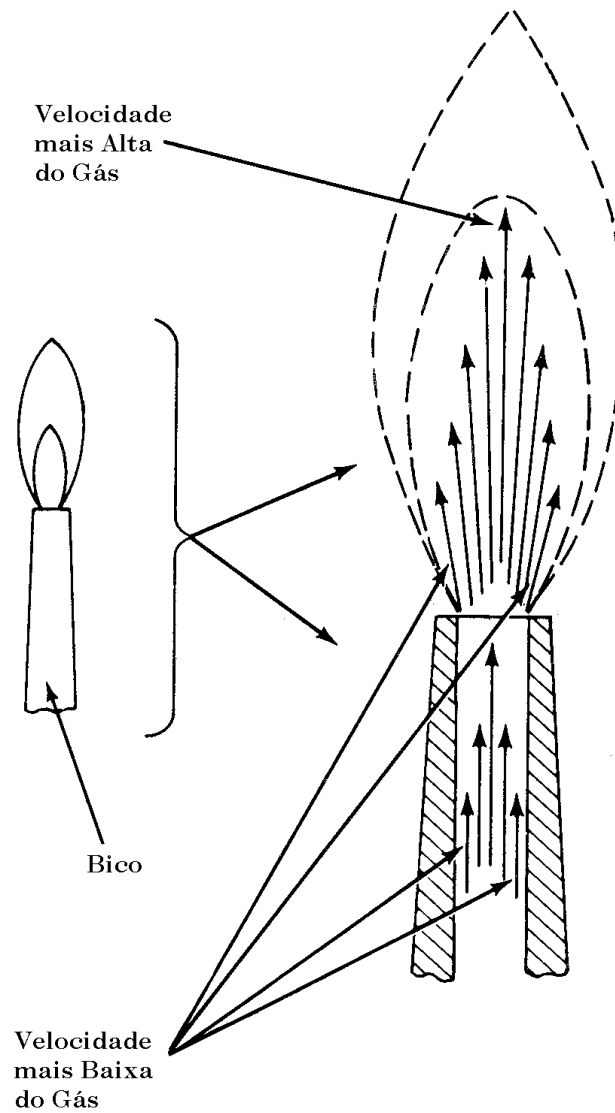


Figura 7 - Gradiente de Velocidades no Bico de Solda.

Genericamente falando, o cone produzido por um bico pequeno variará de uma forma pontiaguda ou semipontiaguda. Cones de bicos de tamanho médio variarão de uma forma semipontiaguda a uma média e cones de um bico grande variarão de uma forma semicega a cega (sem ponta). Uma ilustração das chamas descritas acima pode ser vista na Figura 8.

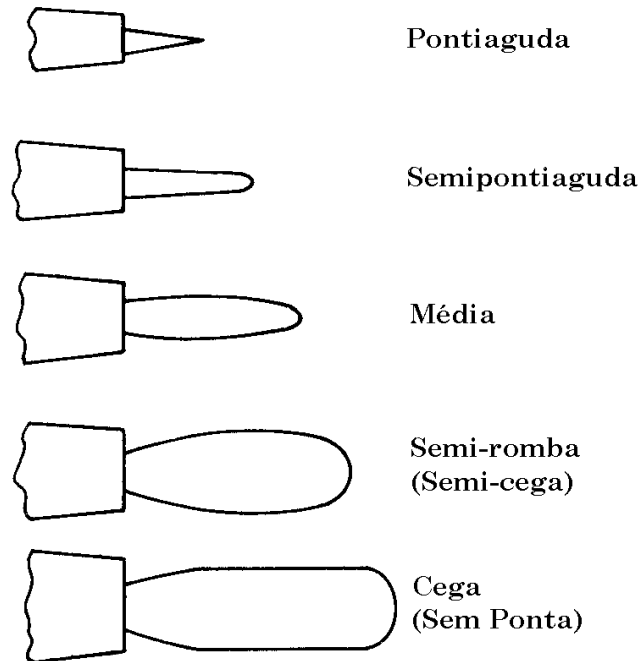


Figura 8 - Tipos de Cones de Chama.

#### **4.5. Mangueiras**

Mangueiras usadas em OFW e operações afins são fabricadas especialmente para satisfazer os requisitos de utilidade e segurança para este serviço. Para mobilidade e facilidade de manipulação, as mangueiras devem ser flexíveis. Elas também devem ser capazes de resistir a altas pressões na linha e moderadas temperaturas.

Cada mangueira deve ter uma válvula de verificação para o regulador e outra para o maçarico. O objetivo das válvulas de verificação é prevenir *flashbacks* pela mangueira e regulador. Para identificação rápida, todas as mangueiras de gases combustíveis são vermelhas. Como precaução adicional, as porcas giratórias usadas para fazer a conexão com as mangueiras são identificadas por um chanfro cortado na saída da porca. As porcas têm rosca esquerda para ajustar na saída do regulador e a entrada de gás se encaixa no maçarico.

Mangueiras de Oxigênio são verdes e as conexões têm uma porca plana com rosca direita para se ajustar na saída do regulador e a entrada de Oxigênio se encaixa no maçarico. O modo padrão de especificar uma mangueira é pelo seu diâmetro interno. Diâmetros internos nominais mais comumente usados são 1/8, 3/16, 1/4, 15/16, 3/8 e 1/2 in., embora diâmetros maiores sejam disponíveis. A pressão máxima padrão de trabalho para mangueiras e encaixes é de 200 psig.

Onde quer que seja possível, as mangueiras devem ser sustentadas numa posição elevada para evitar estrago pela queda de objetos ou metal quente. Comprimentos de mangueira de pequeno diâmetro acima de 8 metros podem restringir o fluxo de gás para o maçarico. Em alguns casos, esta restrição pode ser superada usando um regulador de pressão maior, mas normalmente é recomendado um diâmetro maior de mangueira.

Um regulador pode ser descrito como um aparelho mecânico para manter o recalque de um gás em uma pressão substancialmente constante e reduzida mesmo que a pressão na fonte seja mudada. Reguladores usados em OFW e aplicações afins são redutores de pressão ajustáveis, projetados para operar automaticamente depois de um ajuste inicial. Exceto por pequenas diferenças, todos os reguladores operam sobre um mesmo princípio básico. Eles se encaixam em diferentes categorias de aplicação de acordo com suas capacidades de projeto para gases específicos, faixas diferentes de pressão e taxas de fluxo volumétrico diferentes.

Reguladores são classificados geralmente como de único estágio ou como sendo de dois estágios, dependendo se a pressão é reduzida em um ou dois passos. A pressão de saída do regulador de único estágio exibe uma característica conhecida como elevação ou flutuação. Isto é uma leve elevação ou queda na pressão de recalque que ocorre quando a pressão do cilindro é esgotada. Esta característica é normalmente prejudicial apenas quando uma grande quantidade de gás é removida de um cilindro de alta pressão para um único uso. Periódicos reajustamentos do regulador corrigirão quaisquer efeitos prejudiciais.

Reguladores de dois estágios são essencialmente dois reguladores de um único estágio operando em série dentro de um alojamento. Eles fornecem pressão de recalque constante quando a pressão do cilindro é esgotada.

#### 4.6.1. Princípio de Operação

Os componentes de um regulador de pressão são mostrados esquematicamente na figura 9. Os elementos principais de operação são os seguintes:

1. Um parafuso regulador que controla o impulso de uma mola.
2. Uma mola que transmite este impulso para um diafragma.
3. Um diafragma em contato com uma haste sobre uma válvula de sede móvel.
4. Uma válvula consistindo de um bocal e uma sede móvel.
5. Uma pequena mola localizada sob a válvula de sede móvel.

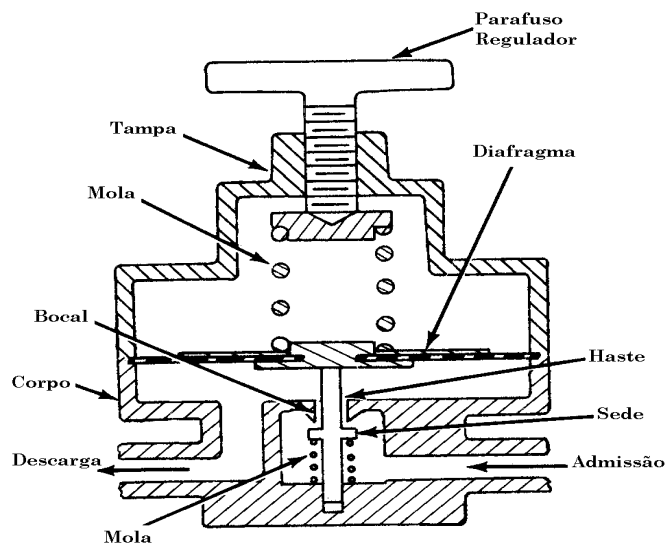


Figura 9 - Regulador de 1 Estágio

A força da mola tende a manter a sede aberta enquanto as forças sobre o lado da

descarga, a pressão sob o diafragma é reduzida, abrindo ainda mais a sede e admitindo mais gás até as forças em ambos os lados do diafragma serem iguais.

Um dado conjunto de condições, tais como pressão de admissão, fluxo volumétrico e pressão de descarga constantes produzirão uma condição balanceada tal que o bocal e seu conjunto de sede mantenham uma relação fixa.

#### **4.6.2. Aplicações de Reguladores**

Reguladores são produzidos com diferentes capacidades para pressões e fluxos volumétricos, dependendo da aplicação e da fonte de energia. Eles devem, portanto, ser usados apenas para os objetivos pretendidos. Em OFW, as exigências para reguladores de cilindro são consideravelmente diferentes daquelas dos reguladores de estação. No arranjo comumente usado de um maçarico mostrado na Figura 4, Oxigênio e Acetileno são fornecidos cada um por um único cilindro; cada um é conectado em um regulador, que pode ser de um ou dois estágios. Cada regulador é equipado com dois manômetros, um indicando a pressão de admissão ou pressão do cilindro e o outro indicando a pressão de descarga ou pressão do maçarico. Reguladores e manômetros são construídos para resistir a altas pressões com uma margem segura de sobrecarga.

Pressões na tubulação raramente excedem 200 psig para o Oxigênio; para o Acetileno não devem exceder 15 psig. Reguladores de estação são, portanto, construídos para baixas pressões de operação, embora eles possam ter uma alta capacidade de fluxo volumétrico. As exigências destes reguladores são satisfeitas adequadamente pelos tipos de um único estágio. Devido a suas limitações de capacidade, os reguladores de estação nunca devem ser substituídos por reguladores de cilindro por causa da possibilidade de ocorrer um sério acidente.

#### **4.6.3. Conexões de Admissão e Descarga dos Reguladores**

As conexões de descarga do cilindro são de tamanhos e formas diferentes para impedir a possibilidade de conectar um regulador no cilindro errado. Reguladores devem, portanto, ser feitos com conexões de admissão diferentes para encaixar os vários cilindros.

O encaixe da descarga do regulador também difere no tamanho e rosca, dependendo do gás e da capacidade do regulador. O encaixe da descarga de Oxigênio tem roscas direitas; o encaixe para os outros gases tem roscas esquerdas com porcas chanfradas.

## **5. Armazenagem e distribuição**

A facilidade da distribuição de gases para a peça é dependente da localização, tamanho, exigências de consumo e aplicação dos vários processos a oxigás. Métodos de distribuição podem ser por cilindros simples, cilindros derivados portáteis ou estacionários, sistemas de grande porte e tubulações.

Cilindros individuais de Oxigênio e Acetileno fornecem uma fonte adequada de gás para soldagem e maçaricos de corte que consomem uma quantidade limitada de gás. Carrinhos são usados extensivamente para fornecer um suporte conveniente e seguro para os cilindros. Os gases são transportados facilmente por este meio.

Oxigênio pode ser trazido ao usuário em cilindros individuais como gás comprimido ou como líquido; existem também diversos métodos de distribuição de grande porte. Oxigênio gasoso em cilindros está normalmente sob uma pressão de 15.170 kPa. Cilindros de várias capacidades são usados contendo aproximadamente 2, 2.3, 3.5, 6.9 e 8.5 m<sup>3</sup> de Oxigênio.



Oxigênio gasoso. Neste caso, também, os cilindros são equipados com conversores líquido-gás, ou podem usar vaporizadores externos.

Deve-se tomar cuidado de não se exceder uma certa taxa de fluxo de Acetileno para um dado tamanho de cilindro. Se a demanda volumétrica for muito alta, a Acetona pode ser arrancada junto com o Acetileno. Dois ou mais cilindros podem ser derivados juntos para fornecer altas taxas de fluxo.

### **5.1. Cilindros Derivados**

Cilindros individuais não podem fornecer altas taxas de fluxo de gás, particularmente para operações contínuas em longos períodos de tempo. A derivação de cilindros é uma resposta para este problema. Um volume razoavelmente grande de gás é fornecido por este meio e ele pode ser descarregado a uma taxa moderadamente rápida.

Derivações são de dois tipos, portáteis ou estacionárias. Derivações portáteis podem ser instaladas com um mínimo de esforço e são úteis onde volumes moderados de gases são requeridos para trabalhos de natureza não repetitiva, também na oficina ou no "campo". Já derivações estacionárias são instaladas em oficinas onde grandes volumes de gás são requeridos. Tal derivação alimenta um sistema de tubulação distribuindo o gás para várias estações por toda a planta. Este arranjo habilita muitos operadores a trabalhar em um sistema de tubulações comum sem interrupção.

### **5.2. Sistemas de Grande Porte**

Para satisfazer um grande consumo de algumas indústrias, Oxigênio gasoso pode ser transportado de uma usina produtora ao usuário em uma série de múltiplos cilindros portáteis ou em longos tubos de alta pressão montados sobre caminhões de reboque. Os reboques podem conter de 850 a 1420 m<sup>3</sup> em grandes unidades e 285 m<sup>3</sup> em pequenas unidades.

Um grande volume de Oxigênio pode também ser distribuído como um líquido em grandes reservatórios separados, montados em caminhões de reboque ou vagões de trem. O Oxigênio líquido é transferido para tanques de armazenamento na propriedade do consumidor. O Oxigênio é retirado, convertido em gás e passa em tubulações de distribuição, quando necessário, por meio de equipamentos reguladores.

## **6. Metais soldáveis pelo processo**

OFW pode ser usado para uma larga faixa de metais e ligas ferrosas e não ferrosas. Como em qualquer processo de soldagem, entretanto, as dimensões físicas e a composição química podem afetar a soldabilidade de certos materiais e peças. Durante a soldagem, o metal é levado a uma faixa de temperatura quase igual àquela do procedimento de fundição. O metal base na área da solda perde aquelas propriedades que lhe são dadas por tratamentos térmicos anteriores ou conformação a frio. A capacidade de soldar materiais como aços de alto carbono e alta liga é limitada pelo equipamento disponível para tratamento térmico após a soldagem. Estes metais são soldados com sucesso quando o tamanho ou natureza da peça permite operações de pós-tratamento térmico.

### **6.1. Aços e Ferro Fundido**

Aços de baixo carbono, baixa liga e fundidos são os materiais mais fáceis de soldar por OFW. Normalmente são necessários fluxos na soldagem destes materiais. Em OFW, aços contendo mais de 0.35% de Carbono são considerados de alto carbono e exigem cuidado especial para manter suas propriedades particulares. Aços liga temperáveis ao ar requerem

condução de calor nas vizinhanças do metal base. Resfriamento lento evita a dureza e a fragilidade associadas com o resfriamento rápido. O soldador deve usar uma chama neutra ou levemente carburizante para soldagem e deve ter cuidado de não superaquecer e descarburizar o metal base. A temperatura de pré-aquecimento exigida depende da composição do aço. Temperaturas variando de 150° C a 540° C têm sido usadas.

Modificações nos procedimentos são necessários para aços inoxidáveis e similares. Por causa do seu alto conteúdo de Cromo e Níquel, estes aços têm condutividade térmica relativamente baixa, e uma chama menor que aquela usada para aços carbono é recomendada. Uma chama neutra é usada para minimizar a facilidade de oxidação do Cromo. É usado um fluxo para dissolver óxidos e proteger o metal de solda. Metal de enchimento de aço de alto Cromo ou Níquel-Cromo é usado. A Tabela 3 resume as informações básicas para soldagem de materiais ferrosos.

Tabela 3 - Condições Gerais de Vários Metais Ferrosos para OFW.

<b>Metal</b>	<b>Ajuste da Chama</b>	<b>Fluxo</b>	<b>Vareta</b>
Aço Fundido	Neutra	Não	Aço
Tira de Aço	Neutra Levemente Oxidante	Não Sim	Aço Bronze
Aço Alto Carbono	Levemente Carburizante	Não	Aço
Ferro Maleável	Neutra	Não	Aço
Ferro Galvanizado	Neutra Levemente Oxidante	Não Sim	Aço Bronze
FoFo Maleável	Levemente Oxidante	Sim	Bronze
Aços Cr-Ni Fundidos	Neutra	Sim	Mesma do metal base ou 25-12 Aço Cr-Ni
Aço Cr-Ni ( 18-8 e 25-12 )	Neutra	Sim	Aço Inox Colúmbio ou mesma do metal base
Aço Cromo	Neutra	Sim	Aço Inox Colúmbio ou mesma do metal base
Ferro Cromo		Sim	Aço Inox Colúmbio ou mesma do metal base

Ferro fundido , ferro maleável e ferro galvanizado apresentam problemas de soldagem por qualquer método. A estrutura do ferro fundido cinzento pode ser mantida através da área da solda pelo uso de pré-aquecimento, fluxo e uma vareta de ferro fundido apropriada.

## **6.2. Metais Não Ferrosos**

As propriedades particulares de cada liga não ferrosa devem ser consideradas quando verifica-se a técnica mais adequada de soldagem. Alumínio, por exemplo, não dá aviso de mudança de cor quando está fundindo, mas parece romper repentinamente no ponto de fusão. Consequentemente, é exigida prática na soldagem para se aprender a controlar a taxa de aporte térmico. O Alumínio e suas ligas sofrem de fragilidade a quente e as soldas devem ser apoiadas adequadamente em todas as áreas durante a soldagem. Finalmente, qualquer superfície de Alumínio exposta é sempre coberta com uma camada de óxido que, quando combinada com o fluxo, forma uma escória fusível que flutua no topo do metal fundido.

Quando Cobre é soldado, são necessárias tolerâncias para o resfriamento das soldas por causa da condutividade térmica do metal ser muito alta. O pré-aquecimento é sempre requerido. Distorção considerável pode ser esperada no Cobre por causa da sua expansão térmica ser maior que dos outros metais. Estas características obviamente apresentam

dificuldades que devem ser superadas por uma soldagem satisfatória. Partes a serem soldadas devem estar presas ou soldadas por pontos.

## **7. Material de adição**

As propriedades do metal de solda devem corresponder completamente àquelas do metal base. Por causa desta exigência, varetas de várias composições químicas são disponíveis para soldagem de muitos materiais ferrosos e não ferrosos. O metal de enchimento deve ser livre de porosidade, rechupes, inclusões e qualquer outro material estranho.

Em manutenção e reparo de peças não é sempre necessário que a composição da vareta corresponda àquela do metal base. Uma vareta de aço pode ser usada para reparar partes feitas de aços liga quebrados por sobrecarga ou acidente. Todo esforço deve ser feito, entretanto, para que o metal de enchimento corresponda ao do metal base.

## **8. Fluxos**

Uma das maneiras mais importantes de controlar a qualidade da solda é remover óxidos e outras impurezas da superfície do metal a ser soldado. A menos que os óxidos sejam removidos, a fusão pode ser dificultada, a junta pode perder resistência e inclusões podem estar presentes. Os óxidos não fluirão da zona de solda mas permanecerão, ficando presos no metal que está solidificando, interferindo com a adição do metal de enchimento. Estas condições podem ocorrer quando os óxidos têm um ponto de fusão mais alto que o metal base e um meio deve ser encontrado para remover aqueles óxidos. Fluxos são aplicados para esta finalidade.

Aços e seus óxidos e escórias que se formam durante a soldagem não se encaixam na categoria acima e não precisam de fluxo. Alumínio, entretanto, forma um óxido com um ponto de fusão muito alto que deve ser removido da zona de soldagem antes que os resultados satisfatórios possam ser obtidos. Certas substâncias reagirão quimicamente com os óxidos de certos metais, formando escórias fusíveis na temperatura de soldagem. Estas substâncias, usadas simples ou combinadas tornam-se fluxos eficientes.

Um bom fluxo deve ajudar a remover os óxidos durante a soldagem formando escórias fusíveis que fluirão para o topo da poça (flutuarão) e não interferirão na deposição e na fusão do metal de enchimento. Um fluxo deve proteger a poça de fusão da atmosfera e evitar que ela absorva ou reaja com os gases da chama.

Durante o pré-aquecimento e períodos de soldagem, o fluxo deve limpar e proteger as superfícies do metal base e, em alguns casos, a vareta. O fluxo não deve ser usado como substituto da limpeza do metal base durante a preparação da junta.

## **9. Princípios operacionais**

O maçarico de OFW serve como implemento na mistura do combustível e no suporte da combustão, fornecendo os meios para aplicação da chama na localização desejada. Uma faixa de tamanhos de bico é fornecida para obtenção de um volume ou tamanho da chama requeridos. Bicos podem variar de pequenas chamas até chamas de 3/16 in.(4.8 mm) ou mais em diâmetro e 2 in. de comprimento.

O cone interno da queima da mistura dos gases é chamado cone de trabalho. Quanto mais próxima a extremidade do cone interno estiver da superfície do metal, mais calor é transmitido da chama para o metal. A chama depende da variação do fluxo de gás. Um fluxo

engolimento ( backfiring ). Um fluxo muito alto resultará numa alta velocidade da chama que é difícil de manusear e soprará o metal fundido da poça.

## 10. Ajuste da chama

Existem 3 tipos de ajuste da chama oxiacetilênica, mostrados na Figura 10. A chama neutra é obtida mais facilmente pelo ajuste da chama com excesso de Acetileno que é reconhecida pela extensão do cone interno (“aleta”). A aleta irá diminuir quando o fluxo de Acetileno decrescer ou o fluxo de Oxigênio aumentar.

Um método prático para se determinar o excesso de Acetileno numa chama é comparar o comprimento da aleta com o comprimento do cone interno, medindo ambos no bico. Uma chama com excesso de 2 vezes a mais de Acetileno terá uma aleta com 2 vezes o comprimento do cone interno. O ajuste da chama oxidante é dado algumas vezes como a quantidade pela qual o comprimento do cone interno neutro pode ser reduzido - por exemplo, um décimo.

## 11. Qualidade da solda

A aparência de uma solda não necessariamente indica sua qualidade. Se existem descontinuidades na solda, elas podem ser agrupadas em duas classificações gerais: aquelas que são aparentes à inspeção visual e aquelas que não são. O exame visual da parte de baixo da solda determinará se há penetração completa e se existem glóbulos excessivos de metal. Penetração inadequada pode ser causada pelo chanframento insuficiente das bordas do metal, raiz muito espessa, alta velocidade de soldagem, maçarico inadequado e manipulação incorreta da vareta. Mordedura e sobreposição das laterais das soldas podem ser detectadas pelo exame visual.

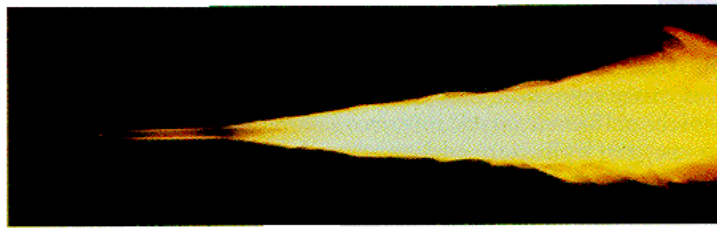
Embora outras descontinuidades como fusão incompleta, porosidade e ruptura possam ou não aparecer externamente, excessivo crescimento de grão e caroços não podem ser determinados visualmente. Fusão incompleta pode ser causada por aquecimento insuficiente do metal base, alta velocidade, inclusões de gás e sujeira. Porosidade é resultado da penetração de gases, normalmente Monóxido de Carbono. Caroços e ruptura são resultados das características metalúrgicas da soldagem.

## 12. PRÁTICAS DE SEGURANÇA

Ninguém deve tentar operar qualquer aparato de OFW antes de ser treinado ou trabalhar sem uma supervisão competente. É importante que as recomendações do fabricante sejam seguidas.

Algumas práticas de segurança podem ser citadas como:

1. Oxigênio sob alta pressão pode reagir violentamente com óleo, graxas ou outros materiais combustíveis. Portanto, eles devem ser mantidos afastados dos cilindros e de todo o equipamento a ser usado com Oxigênio.
2. Acetileno é um gás que queima facilmente. Logo ele deve ser mantido afastado de fontes de calor. Em altas pressões, torna-se explosivo. Os cilindros devem, portanto, ser manuseados com cuidado e a instalação deve possuir válvulas de segurança e reguladores de pressão. Devem também ser armazenados em locais bem ventilados, limpos, secos e livres de outros combustíveis.
3. Manter o Acetileno livre de Cobre, Mercúrio ou Prata, pois a combinação destes com o gás gera compostos altamente explosivos.



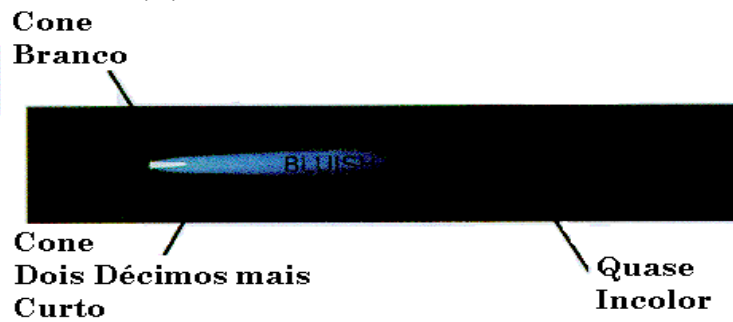
**(A) Chama de Acetileno Puro**



**(B) Chama Carburizante**



**(C) Chama Neutra**



**(D) Chama Oxidante**

Figura 10 - Ajuste da Chama Oxiacetilênica.