



Fundação Municipal de Ensino de Piracicaba
Escola de Engenharia de Piracicaba
Curso de Engenharia Mecânica



Luís Leonardo Packer Angeli

Comparação de características do processo de corte a plasma com o oxicorte

Piracicaba

2011

Luís Leonardo Packer Angeli

Comparação de características do processo de corte a plasma com o oxicorte

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia de Piracicaba como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Marcelo Eurípedes da Silva

Piracicaba

2011

Luís Leonardo Packer Angeli

Comparação de características do processo de corte a plasma com o oxicorte

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia de Piracicaba como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Piracicaba, 26 de novembro de 2011.

Banca Examinadora:

Professor Marcelo Eurípedes da Silva (Presidente)
Escola de Engenharia de Piracicaba
Mestre em Engenharia Mecânica

Professor Paulo Alberto Silveira Wrege (Membro)
Escola de Engenharia de Piracicaba
Doutor em Engenharia Mecânica

Professor Marcos Cesar Ruy (Membro)
Escola de Engenharia de Piracicaba
Mestre em Engenharia Mecânica

Dedico este trabalho a todos que me ajudaram a atingir minha meta, especialmente minha futura esposa Monique Rodrigues, aos meus pais Edson Luis Angeli e Maria Imaculada Packer, e aos meus irmãos Edson A. P. Angeli e Tiago J. P. Angeli.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas que me auxiliaram a tornar esse projeto de vida em realidade.

Em especial dedico esse trabalho ao Professor e Orientador dessa monografia de Engenharia Mecânica Msc. Marcelo Eurípedes da Silva, pela competência e dedicação dispensada no decorrer do ano e também deste trabalho, além da oportunidade de aprendizado a mim dispensada, meus distintos agradecimentos.

Aos meus amigos, Matheus, Gustavo, Rafael, Diogo e Diego que convivem e torram minha paciência diariamente.

Aos meus pais Edson Luis Angeli e Maria Imaculada Packer, meus sogros João Rodrigues e Clarice de Souza Palma Rodrigues pelos conselhos a mim dados.

Finalmente gostaria de agradecer a Deus, que durante toda minha vida tem me acompanhado e ajudado nos momentos mais difíceis.

Obrigado pela compreensão e paciência de todos ao meu redor especialmente por esse ano muito trabalhado e sofrido.

RESUMO

Com o advento das novas tecnologias na área da informática e também do crescente aumento da busca por uma qualidade cada vez maior, surgiu à mecanização dos processos de corte de matéria prima (especialmente do processo de plasma e oxicorte). Ambos os processos possuem vantagens e desvantagens um em relação ao outro, assim esse estudo foi baseado em uma comparação entre o processo plasma com o oxicorte, tomando como parâmetros de comparação o custo direto do processo (como tempo de corte, gasto com matéria prima e consumíveis de cada procedimento) e o custo indireto (acabamento superficial, facilidade de remoção de escórias e facilidade na manipulação do processo). Essa comparação tem por objetivo estabelecer para determinada condição (espessura, máquina e material a cortar) um procedimento que apresente um custo mais baixo, porém sem afetar demasiadamente a qualidade do processo. Sendo assim, através de um estudo teórico-exploratório, foi possível concluir que o processo de corte a plasma apresentou uma eficiência superior ao oxicorte. Para isso foram estudados os conceitos do processo de corte a plasma e oxicorte, mostrando seus diferentes tipos e aplicações.

Palavras-chave: Plasma. Oxicorte. Máquina de corte CNC e Custo de corte de chapas metálicas

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.: Estados conhecidos da matéria.-----	14
Figura 2.2.: Mecanismos básicos de uma caneta a plasma.-----	15
Figura 2.3.: Esquema de Formação do arco duplo.-----	17
Figura 2.4.: Esquema de plasma “Dual Flow”.-----	18
Figura 2.5.: Esquema de plasma com injeção de ar comprimido. -----	19
Figura 2.6.: Esquema de plasma com proteção de água.-----	19
Figura 2.7.: Esquema de plasma com injeção de água. -----	20
Figura 2.8.: Sentido correto de corte a plasma.-----	21
Figura 2.9.: Tábua de água e mufla de água.-----	23
Figura 2.10.: Esquema de uma caneta do processo plasma de alta definição. ---	25
Figura 2.11.: Esquema de uma caneta com tecnologia de corte coaxial. -----	26
Figura 2.12.: Diferentes tipos de tocha T100M do processo plasma. -----	27
Figura 2.13.: Foto de um difusor de gás.-----	28
Figura 2.14.: Foto de um eletrodo 100A.-----	28
Figura 2.15.: Foto de um bico 100A.-----	29
Figura 2.16.: Foto de uma capa.-----	29
Figura 2.17.: Montagem de uma tocha mecanizada para...-----	30
Figura 2.18.: Esquema de arco transferido e não transferido.-----	31
Figura 2.19.: Partida por contato.-----	32
Figura 3.1.: Foto de um manômetro de oxigênio após sofrer uma explosão.-----	43
Figura 3.2.: Central de oxicorte básica e seus equipamentos.-----	44
Figura 3.3.: Maçarico combinado para operações de soldagem e corte.-----	45
Figura 3.4.: Maçarico com mistura no bico.-----	45
Figura 3.5.: Maçaricos com diferentes tipos de mistura.-----	46
Figura 3.6.: Variedades de formas construtivas do canal de Oxigênio de corte.-	47
Figura 3.7.: Ferramentas para corte manual.-----	49
Figura 3.8.: Foto de uma tartaruga para cortes retos.-----	50
Figura 3.9.: Principais defeitos e sua causas prováveis...-----	53
Figura 4.1.: Máquina Tectronix BT3000 instalada ...-----	58
Figura 4.2.: Desenho da peça retangular para teste.-----	60
Figura 4.3.: Desenho da peça em formato de aro para teste.-----	61
Figura 4.4.A: Projeto de corte por plasma.-----	63
Figura 4.4.B: Projeto de corte por oxicorte.-----	64
Figura 4.5.: Processo de corte por plasma.-----	65
Figura 4.6.: Processo de corte por oxicorte.-----	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1.: Seleção do gás de plasma.-----	34
--	----

Quadro 2.2.: Seleção dos gases de proteção.-----	35
Quadro 2.3: Recomendações de gases por espessura e material. -----	35
Quadro 3.1.: Comparação entre ponto de fusão ...-----	38
Quadro 3.2.: Influência da presença de elementos ...-----	39
Quadro 4.1.: Dados obtidos através do processo de plasma.-----	66
Quadro 4.2.: Dados obtidos através do processo de oxicorte.-----	71

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1.: Curva estequiométrica de combustão de diversos gases.-----	41
Gráfico 3.2.: Curva de variação da velocidade de corte ...-----	52
Gráfico 3.3.: Curva de variação da velocidade de corte ...-----	52

SUMÁRIO

1.Introdução-----	11
2. Processo de corte a plasma-----	13
2.1. Conceitos do processo-----	13
2.2.História do processo-----	14
2.2.1. Corte a plasma convencional-----	16
2.2.2. Arco de plasma “Dual Flow”-----	17
2.2.3. Corte plasma com ar comprimido-----	18
2.2.4. Corte a plasma com proteção de água-----	19
2.2.5. Arco plasma com injeção de água-----	20
2.2.6. Mufla de água e tábua de água-----	22
2.2.7. Corte subaquático-----	23
2.2.8. Corte plasma a ar comprimido de baixa corrente-----	23
2.2.9. Corte plasma com oxigênio-----	24
2.2.10. Outras tecnologias-----	24
2.3. Processo de corte de chapas a plasma-----	26
2.3.1. Elementos constituintes do processo-----	27
2.3.1.1.Tocha-----	27
2.3.1.2. Difusor de gás-----	27
2.3.1.3. Eletrodo-----	28
2.3.1.4. Bico-----	28
2.3.1.5. Capa-----	29
2.3.1.6. Montagem-----	29
2.4. Principio de funcionamento-----	30
2.4.1. Sequência de operação-----	31
2.4.2. Métodos de partida-----	32
2.4.2.1 Partida por contato-----	32
2.4.2.2 Partida por alta frequência-----	32
2.5. Seleção e tipos de gases-----	33
3. Processo de corte oxi-combustível-----	36
3.1 Conceitos do processo-----	37
3.2. Princípios de funcionamento-----	37
3.3. Gases utilizados durante o processo-----	40
3.3.1. Oxigênio (O ₂)-----	40
3.3.2. Gases combustíveis para a chama de pré-aquecimento-----	40
3.3.2.1. Acetileno (C ₂ H ₂)-----	42
3.3.2.2. Gás liquefeito de petróleo ou GLP (C ₃ H ₈ + C ₄ H ₁₀)-----	42
3.4. Equipamentos-----	43
3.4.1. Maçarico de corte-----	44
3.4.1.1. Tipos de maçaricos-----	44
3.4.2. Bicos de corte-----	46

3.5. Mecanismos de corte-----	48
3.5.1. Corte manual-----	48
3.5.2. Máquina de corte portátil-----	49
3.5.3. Máquina de corte pantográfica-----	50
3.6. Defeitos do processo de corte-----	52
4. Estudo de Caso-----	55
4.1. Objetivos do estudo de caso-----	59
4.2. Procedimentos pré-experimentais -----	59
4.3. Procedimento de corte -----	64
4.3.1. Procedimento de corte a plasma -----	65
4.3.2. Procedimento de corte por oxicorte -----	67
4.4. Análise dos resultados obtidos-----	72
6. Conclusão-----	74
4. Bibliografia-----	76

1.Introdução

Com o advento de novas tecnologias na área de informática e a crescente industrialização em países emergentes, como o Brasil e China, tornou-se necessário o aumento da velocidade de produção de bens industriais, porém sem reduzir a qualidade de produção (pelo contrário, aumentá-la). Deste modo, a indústria nacional começou a investir pesadamente em automatização de diversos processos, principalmente processos iniciais de manufatura, como os processos de corte de chaparias, pois nessa etapa inicial, a mecanização é de fácil implementação e gera resultados significativos para o tempo de fabricação e a qualidade do produto final.

Segundo Joaquim e Ramalho (1996), atualmente na indústria em geral, o processo plasma vem substituído gradualmente o processo de oxicorte, pois apresenta melhores características de corte, como velocidade e acabamento da superfície cortada. Dito isso o oxicorte tende a limitar-se, do ponto de vista econômico, a espessuras tidas como grossas.

Cada processo possui uma característica diferente para o processamento da chapa bruta, ou seja, cada método de corte possui diversas variáveis operacionais que se discutiu nesse estudo.

O plasma surgiu, segundo Lima (2006), na década de 50 e desde então gradualmente a indústria aumenta a sua utilização no processo de corte de qualquer metal, uma vez que, os metais são bons condutores de eletricidade. Esse processo encaixa-se perfeitamente com metais não ferrosos, tendo em vista que esses materiais não podem ser cortados através do processo de oxicorte.

O Portal Metálica (2011) menciona o histórico desse processo e enfatiza a principal vantagem do processo se comparado ao oxicorte: a velocidade. O Portal ainda cita que a velocidade de corte em chapas metálicas finas apresentada pelo processo plasma supera astronomicamente o processo de oxicorte, aliando essa característica ao preço dos equipamentos plasma cada vez mais baratos fazendo com que o processo de corte a plasma torna-se “economicamente viável para o corte de aços carbono e baixa liga”.

Já Joaquim e Ramalho (1996) descrevem os principais defeitos ocasionados pelo corte através desse processo, além de citarem as técnicas derivadas o corte plasma comum. Segundo eles: "a aplicação industrial atualmente não ultrapassa os

50 mm de espessura, ou seja industrialmente são raras as aplicações de chapas acima de 2", além do fato de nessa faixa de trabalho, o corte plasma convencional possuir geralmente a ponta circular e alargado.

Ramalho (2010) define o oxicorte como "um processo de seccionamento de metais pela combustão localizada e contínua devido à ação de um jato de O₂ de elevada pureza, agindo sobre um ponto previamente aquecido por uma chama oxicom bustível". Já o Telecurso 2000 (2009) resume o processo: "oxicorte é um dos processos de corte que se fundamenta na erosão do material por meio da ação do calor (erosão térmica)". Esse estudo ainda enfoca as variáveis do processo (como a escolha do gás correto para determinada aplicação e a pressão desse gás) e suas aplicações.

Após a análise de cada processo, realizou-se um estudo específico do procedimento em uma empresa com o objetivo de encontrar o melhor método para a realização do corte em uma chapa de espessura ½". Para a realização desse estudo, foi analisado diversas variáveis para conseguir estabelecer um parâmetro de comparação entre os métodos e assim obter um resultado plausível do melhor método para as condições pré-determinadas da empresa. Esses parâmetros foram: o custo direto do processo (tempo de corte, custo de consumíveis e matéria prima) e o custo indireto (acabamento superficial, facilidade de remoção de escórias e facilidade na manipulação do processo).

O trabalho foi estruturado em capítulos da seguinte maneira: no capítulo 2 descreve-se método de corte utilizando o processo de plasma e suas variáveis. Já no capítulo 3 aborda-se o método de corte utilizando o processo oxicorte e suas variáveis. O conteúdo do trabalho encerra-se com o capítulo 4, no qual se analisa as características dos dois processos através do estudo de caso de uma empresa.

2. Processo de corte a plasma

Segundo Lima (2006), o processo de corte a plasma teve a sua origem por volta da década de 50, porém atualmente destaca-se como um dos mais importantes métodos de corte de metais. Lima ainda cita as dificuldades no desenvolvimento desse método de corte devido ao elevado consumo dos consumíveis e também dos sistemas em geral além do próprio ângulo de corte e a algumas inconsistências no processo, inviabilizando essa tecnologia até poucos anos atrás.

Lima (2006) ainda menciona um fato histórico no desenvolvimento desse processo: a união de tecnologias do corte mecanizado com o corte manual. Os plasmas manuais, atualmente, “são equipados com um sistema de jato coaxial de ar, que constringe ainda mais o plasma, permitindo um corte mais rápido e com menor ângulo” e “o projeto de escudo frontal permite ao operador apoiar a tocha na peça mesmo em correntes elevadas na ordem de 100 A”, já no plasma mecanizado principalmente nos comandados por controle numérico, nos quais contém manipuladores XYZ, “foram incorporadas tecnologias que aumentam a consistência do processo e prolongam a vida útil dos componentes consumíveis através de um controle mais eficiente dos gases e do sistema de refrigeração respectivamente”.

De acordo com o Portal Metálica (2011) no início o plasma surgiu como uma alternativa ao corte por oxidação (vulgo processo de oxicorte), uma vez que materiais como alumínio, cobre e aço inoxidável devido as suas propriedades físicas e químicas não podem ser cortados por esse processo. O Portal ainda cita que a velocidade de corte em chapas metálicas finas, apresentada pelo processo plasma supera, astronomicamente, o processo de oxicorte, aliando essa característica ao preço dos equipamentos plasma cada vez mais baratos transformou o processo de corte a plasma “economicamente viável para o corte de aços carbono e baixa liga”

2.1. Conceitos do processo

De acordo com Lima (2006), toda matéria possui quatro estados físicos na natureza: sólido, líquido, gasoso e plasma. Ele toma como exemplo a água que em seu primeiro estado encontra-se sólido em forma de gelo. Se o gelo for aquecido, ele

começa a se liquefazer e atinge o segundo nível, ou seja, ele atinge o estado líquido. A mesma ideia aplica-se ao líquido, que quando submetido ao calor muda seu estado de matéria e transforma-se em vapor de água e finalmente este quando submetido a altas temperaturas transforma-se em um gás ionizante capaz de conduzir eletricidade. Este estado da matéria é conhecido como o 4º estado e também é chamado de plasma. Na natureza o exemplo mais visível desse fenômeno físico são as tempestades elétricas (raios), além ainda das auroras boreais. Na figura 2.1 visualizam-se os cinco estados conhecidos da matéria.

A existência de um quinto estado da matéria só foi comprovada em laboratório em 1995. Ele havia sido previsto em 1924 pelo físico alemão Albert Einstein e pelo matemático indiano Satyendra Nath Bose

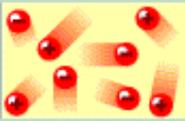
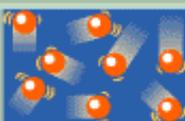
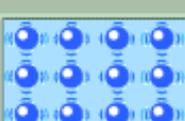
		ESTADO DE PLASMA A temperaturas altíssimas, da ordem de 10.000 °C, os átomos possuem carga elétrica. Movem-se caoticamente, espalhando-se para todas as direções, a cerca de 15.000 km/h. É o estado da matéria das estrelas
		ESTADO GASOSO Abaixo de 1.000 °C, as partículas começam a frear e a neutralizar sua carga elétrica. Num gás à temperatura ambiente, os átomos viajam com velocidade média de 1.500 km/h, também em qualquer direção
		ESTADO LÍQUIDO À temperatura ambiente, os átomos da maior parte das substâncias viajam ainda desordenadamente. Percorrem todo o volume que lhes é dado, como o de um copo. A velocidade média das partículas é bem menor: 90 km/h
		ESTADO SÓLIDO Quando a temperatura cai mais, os átomos se unem firmemente. Mas ainda dançam. Na água, a 0 °C, os átomos andam com a mesma velocidade de 90 km/h, mas já não caminham por todo o volume. Apenas vibram em torno de um ponto
NÃO EXISTE NA NATUREZA		QUINTO ESTADO No condensado Bose-Einstein, os átomos estão a uma temperatura muito próxima do zero absoluto (-273 °C). As partículas vibram como um corpo único, numa velocidade tão baixa que é impossível medi-la em laboratório

Figura 2.1.: Estados conhecidos da matéria.

Fonte: <www.algosobre.com.br/images/stories/fisica/quintoestado.gif> (acessado em 13.05.11 às 13:47).

2.2.História do processo

Lima (2006) define o surgimento do processo de corte a plasma por volta da década de 50 e desde então gradualmente a indústria aumenta a sua utilização no processo de corte de qualquer metal, uma vez que, os metais são bons condutores de eletricidade (característica intrínseca a esses elementos químicos). Esse processo

encaixa-se perfeitamente com metais não ferrosos, tendo em vista que esses materiais não podem ser cortados através do processo de oxicorte.

De acordo com Joaquim e Ramalho (1996), em 1950 as indústrias implantavam o processo de soldagem TIG para soldas que necessitavam de uma qualidade visual e estrutural melhor em materiais tido como nobres, quando cientistas do laboratório de solda da Union Carbide durante testes para aperfeiçoamento do processo acabaram por reduzir o diâmetro do bocal direcionador de gás da tocha TIG descobrindo assim que essa redução restringia o arco elétrico, ocasionando um aumento da velocidade do gás e o calor gerado através do efeito Joule. Descobririndo assim que ao invés de soldar o metal, ocorrera o oposto, ou seja, ocorrera o corte desse metal através do aumento exponencial da temperatura e tensão do arco, além da força do gás ionizado remover a poça de fusão em alta velocidade.

Ainda explicando o processo de criação do plasma Joaquim e Ramalho (1996) mencionam: “se a mesma corrente é forçada a passar através do orifício, com os mesmos parâmetros operacionais, a tensão e temperatura aumentam. Ao mesmo tempo uma maior energia cinética do gás sai do bocal, ejetando o metal fundido provocando o corte”

Lima (2006) descreve o processo de corte por plasma como sendo “a utilização do calor liberado por uma coluna de plasma, resultante do aquecimento, por meio de um arco elétrico, de um gás em alta vazão rotacional”. Essa substancia é transferida ao metal a ser cortado, fundindo a parte do metal em contato com o plasma e o metal liquido é expulso da poça de fusão através da injeção de algum gás em alta vazão. Na figura 2.2 demonstra-se o processo básico de corte por plasma.

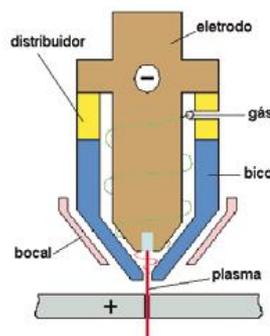


Figura 2.2.: Mecanismos básicos de uma caneta a plasma.

Fonte: Revista da Soldagem ano 2 nº9 (2006, página 18) .

2.2.1. Corte a plasma convencional

No ano 1957 aparece uma nova técnica lançada no mercado pela empresa Union Carbide permitindo unir a descoberta de 1950 com a velocidade de corte relativamente alta de qualquer material. As faixas de corte com essa técnica variam de 0,5mm (chapas classificadas como chapas finas) até chapas com 250mm (chapas grossas), como ressaltam Joaquim e Ramalho (1996), sendo que de acordo com a condutividade de corrente da tocha e as propriedades dos metais envolvidos no processo de corte, se dita à espessura de corte.

Joaquim e Ramalho (1996) ainda citam que "a aplicação industrial atualmente não ultrapassa os 50mm de espessura, ou seja industrialmente são raras as aplicações de chapas acima de 2". Nessa faixa de trabalho, o corte plasma convencional tem geralmente a ponta circular e alargado.

Um defeito que ocorre, como defendem Joaquim e Ramalho (1996), são os corte largos, cuja origem provém de "um desbalanceamento energético na face de corte", que ao aplicar um ângulo positivo para o processo de corte, acaba dissipando o calor na superfície da peça de acordo com a própria progressão do corte.

Junior (2009) diz que esse defeito reduz-se acaso ocorra à aproximação entre a tocha e a peça além de aplicar o princípio de constrição de arco, que por sua vez tende a tornar o perfil do arco mais uniforme e reto, mas nesse processo convencional quanto mais ocorre à constrição, mais se aumenta a chance de desenvolver dois arcos em série, sendo um entre o eletrodo e o bico e outro entre o bico e a peça de trabalho, fenômeno conhecido como arco duplo.

De acordo com Junior (2009), este fenômeno é indesejado, portanto é cada vez mais combatido, atualmente esse defeito foi muito reduzido, graças à aplicação de algumas técnicas novas. Seu principal empecilho é o da redução da durabilidade dos consumíveis, principalmente do eletrodo e do bico de corte. Outra desvantagem no surgimento do arco duplo é a sua característica de limitar consideravelmente a extensão do corte com uma qualidade muito inferior do acabamento superficial. Na figura 2.3 o fenômeno arco duplo aparece com ênfase.

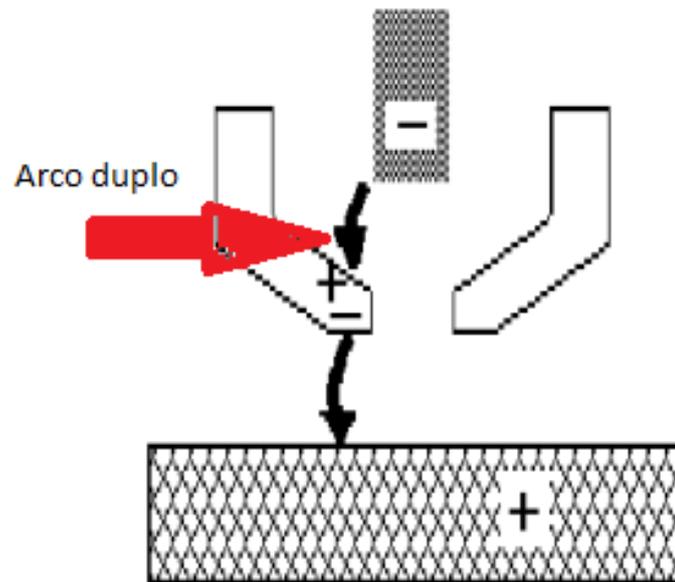


Figura 2.3.: Esquema de Formação do arco duplo.

Fonte: Modificado <www.infosolda.com.br/download/62ddn.pdf> (acessado em 14.05.11 às 13:25).

2.2.2. Arco de plasma “Dual Flow”

Segundo Agostini (2006) a técnica dual flow teve a sua origem em 1963. Já Joaquim e Ramalho (1996) mencionam essa técnica como a sucessora do processo de corte plasma convencional, ou seja, o processo convencional sofreu uma mudança pequena se compararmos ao procedimento anterior: a adição de um segundo gás de proteção ao redor do bico de corte. Costumeiramente o gás de proteção é o Nitrogênio, já o segundo escolhe-se em função do material a cortar. Os gases são: ar comprimido ou oxigênio se o material a cortar for aço carbono, dióxido de carbono (CO₂) para aços inoxidáveis e misturas de Hidrogênio e Argônio para cortar alumínio.

Nesse processo a principal vantagem é o aumento da vida útil dos consumíveis se compararmos com o processo anterior uma vez que possuindo um segundo gás, este forma uma proteção entre o bico de corte e a peça, diminuindo assim a tendência de curtos-circuitos e também a tendência à formação de arcos duplos. A figura 2.4 demonstra esse processo.

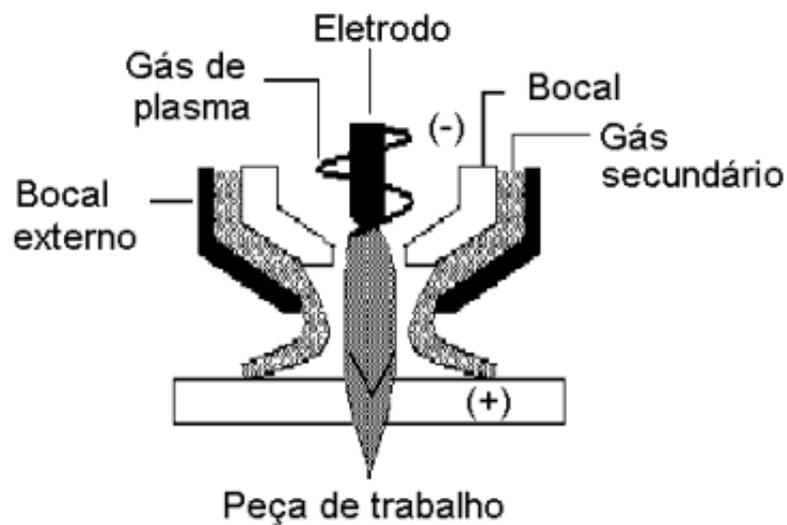


Figura 2.4.: Esquema de plasma “Dual Flow”.

Fonte: <www.infosolda.com.br/download/62ddn.pdf> (acessado em 14.05.11 às 13:25).

2.2.3. Corte plasma com ar comprimido

De acordo com Joaquim e Ramalho (1996), essa variável do processo de corte surgiu no início dos anos 60 com a finalidade de cortar aço carbono. A principal inovação nesse processo foi à adição de uma energia no processo provinda da reação exotérmica do oxigênio presente no ar, que depois de injetado durante o processo de corte reage de forma exotérmica, ocasionando um aumento de cerca de 25% na velocidade de corte sobre o plasma com Nitrogênio. A figura 2.5 destaca um exemplo de tocha plasma a ar comprimido. Contudo por tratar-se de uma variável que visa inicialmente o corte de aço carbono, o processo de corte de outros materiais é possível, porém a qualidade do corte fica a mercê da afinidade do material quanto ao processo de oxidação, principalmente.

Um dos aspectos ruins, como ressalva Junior (2009), dessa metodologia é o consumo extremamente elevado dos elementos, como o eletrodo e o bico. Sabendo dessa característica, ao escolher os consumíveis para esse processo indica-se escolher os eletrodos a base de Zircônio, Háfio ou suas ligas, uma vez que os eletrodos a base de Tungstênio deterioram rapidamente sobre as condições necessárias nesse processo.

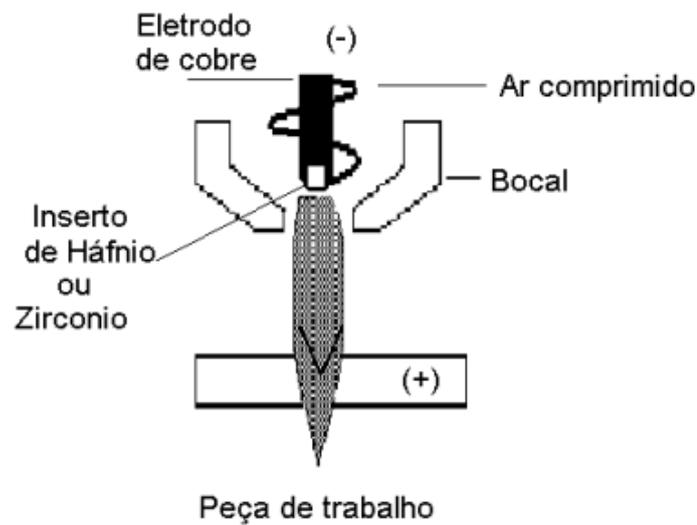


Figura 2.5.: Esquema de plasma com injeção de ar comprimido.

Fonte: <www.infosolda.com.br/download/62ddn.pdf> (acessado em 14.05.11 às 13:25).

2.2.4. Corte a plasma com proteção de água

Joaquim e Ramalho (1996) acreditam que o surgimento dessa tecnologia ocorreu no ano de 1965, destacando que a adição do elemento água no sistema plasma tem o intuito de aumentar a durabilidade dos consumíveis e também ampliar a qualidade do corte, porém esse método não consegue alterar a velocidade de corte e o esquadrejamento, uma vez que o elemento adicionado não tem a função de constrição adicional do arco. Desta forma na figura 2.6 mostra em detalhes essa injeção de água no processo.

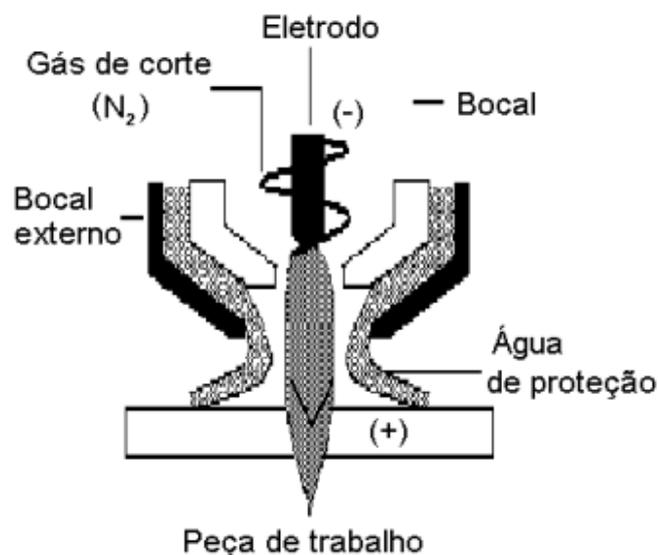


Figura 2.6.: Esquema de plasma com proteção de água.

Fonte: <www.infosolda.com.br/download/62ddn.pdf> (acessado em 14.05.11 às 13:25).

2.2.5. Arco plasma com injeção de água

Lima (2006) ressalva que “a primeira grande inovação” do processo de corte a plasma acontece em 1968, essa data também é aceita por Joaquim e Ramalho (1996). Essa inovação foi à criação da injeção de água entre o bico e um bocal frontal com o intuito de aumentar a constrição do arco evitando-se assim o arco duplo, porém como resultado secundário, possuímos ainda o aumento considerável sobre a qualidade dos processos anteriores.

Joaquim e Ramalho (1996) concordam com Lima (2006) e salientam o fato desse processo possuir uma temperatura duas vezes maior que o processo convencional. Com essa temperatura alta, o corte com injeção de plasma, consegue oferecer uma velocidade de corte mais rápida, esquadrejamento do corte excelente além da eliminação quase total da escória no corte de aços carbono. Na figura 2.7 visualiza-se uma tocha desse processo.

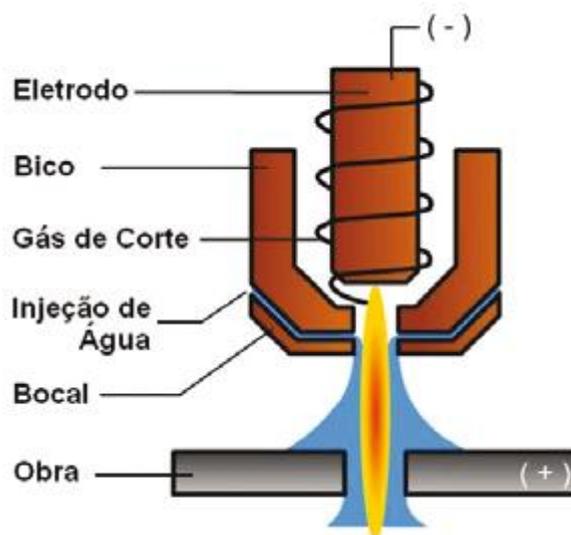


Figura 2.7.: Esquema de plasma com injeção de água.

Fonte: Revista da Soldagem ano 2 nº9 (2006, página 18).

Joaquim e Ramalho (1996) afirmam haver uma técnica derivada desse processo. Essa técnica não utiliza uma injeção radial de água como o convencional, e sim um redemoinho de água em volta do arco para assim conseguir constrição do arco. Essa variável depende da velocidade angular para produzir um redemoinho estável. Essa velocidade alta acaba por gerar uma força centrífuga tendendo a “achatar o filme aneliforme de água contra o arco”

Esse procedimento, conforme Joaquim e Ramalho (1996), aumenta ainda mais a vida útil dos consumíveis uma vez que “a camada de vapor isola o mesmo (bico de corte) da alta intensidade de calor proveniente do arco ao mesmo tempo em que a água protege e isola o bico do maior ponto de constricção do arco e de máxima temperatura”. Dito isso, descobriu-se agora uma nova forma de construção do bocal, uma vez que, anteriormente, esse era fabricado de uma liga metálica, agora ele pode ser confeccionado de cerâmica, eliminando de vez o arco duplo.

Junior (2009) comenta um aspecto interessante nesse processo: as extremidades cortadas. Tendo em vista uma particularidade nesse corte, o lado direito do corte tem a característica de ser reto, já o lado oposto apresenta um chanfro leve. Essa particularidade provem de “um pequeno redemoinho em sentido dos ponteiros do relógio no gás. Esse giro causa uma maior energia de arco a ser desprendido no lado direito do corte” característica enfatizada por Joaquim e Ramalho (1996). Sendo deste modo ao realizar algum corte, tem-se que manter o máximo de ângulos retos na peça quanto preciso for, assim, o sentido de corte nesse processo é importante para a sua qualidade. Na figura 2.8 visualiza-se o sentido correto de corte para corte interno e externo.

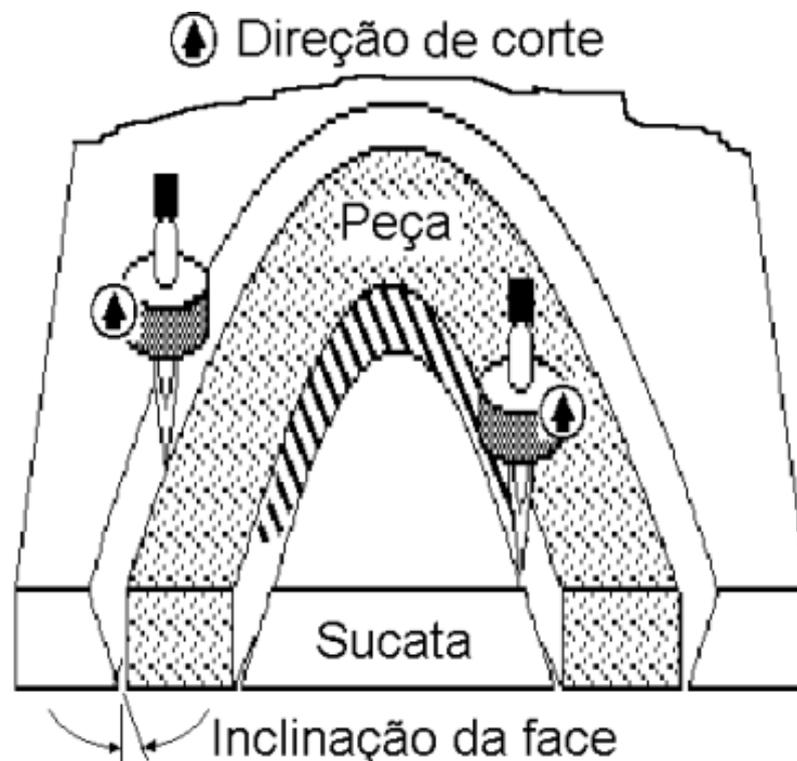


Figura 2.8.: Sentido correto de corte a plasma.

Fonte: <www.infosolda.com.br/download/62ddn.pdf> (acessado em 14.05.11 às 13:25).

2.2.6. Mufla de água e tábua de água

De acordo com Joaquim e Ramalho (1996), ao implantar-se o processo de corte a plasma nas indústrias, surgiram problemas, do ponto de vista ambiental e social, inerentes ao processo devido a uma elevada concentração de energia acima de 50.000°K. Esse processo produz:

- **Gases nocivos:** requer um ambiente ventilado.
- **Nível de radiação ultravioleta alto:** pode ocasionar queimaduras sérias de pele e retina requerendo, assim, o uso de óculos com proteção ultravioleta além de exigir uma vestimenta adequada.
- **Nível de ruído extremamente alto:** devido a altas correntes, esse fator requer uma atenção especial, pois o protetor auricular necessário tem que ter uma isolação altíssima.

A fim de combater esses pontos desfavoráveis e não perder uma fatia considerável de mercado para outros processos, a empresa Hypertherm lançou em 1972 dois modos de operação: a mufla de água e a tábua de água, ambas exemplificadas na figura 2.9. Essas duas novidades para a época, trabalham em associação minimizando assim as desvantagens do processo plasma.

- **Tábua de água:** tem como principal objetivo absorver os gases nocivos e também diminuir o ruído. Trata-se de uma banca com um reservatório de água logo abaixo da peça a ser cortada.
- **Mufla de água:** diminui o ruído, pois cria uma barreira de isolação, funciona como uma barreira a partículas sólidas e também a luminosidade excessiva. Diminui razoavelmente a radiação ultravioleta.



Figura 2.9.: Tábua de água e mufla de água.

Fonte: Catálogo Oxyser máquina de corte por plasma modelo Delta (2010).

2.2.7. Corte subaquático

Esse processo possui o mesmo objetivo do processo anterior, porém agora a peça é imersa sobre uma coluna de 50 a 70mm de água. Este aspecto acaba por gerar algumas desvantagens. Joaquim e Ramalho (1996) as citam:

- A peça não pode ser visualizada pelo operador.
- O operador não consegue saber se o corte está realmente acontecendo ou ainda os consumíveis estão gastos.
- A velocidade de corte é reduzida em cerca de 10 a 20%, devido aos fatores anteriores e também pela resistência ao movimento imposta pela água.
- Pequena quantidade de água sofre uma reação química, a qual dissocia a molécula de água em íons de Oxigênio e Hidrogênio. O oxigênio acaba por combinar-se com o metal cortado, formando óxidos; em muitos casos dificulta ainda mais o processo devido o aumento da dureza da peça ocasionada pelo oxido. Já o íon de Hidrogênio fica livre na água e na presença de outros íons e com o calor gerado pelo corte, acaba por ocasionar pequenas explosões no sistema. Para evitar essa característica, a água deve ser agitada constantemente.

2.2.8. Corte plasma a ar comprimido de baixa corrente

Joaquim e Ramalho (1996) mencionam o lançamento de uma nova tecnologia no ano de 1980, provinda dos EUA através da empresa Termal Dynamics com o

PAK3 e da Europa com o ZIP-CUT da empresa SAF (empresa de origem francesa). Essa nova tecnologia tinha como conceito utilizar o ar como o gás de plasma, especialmente um sistemas de baixa corrente.

Com essa inovação o mercado cresceu em 50 vezes e o processo de corte a plasma, foi finalmente aceito no mercado como uma solução ao corte de metais, fato esse que tornou o plasma mais fácil de utilizar e tornou-se ainda mais confiável, segundo Joaquim e Ramalho (1996).

2.2.9. Corte plasma com oxigênio

De acordo com Lima (2006) no ano de 1983 o oxigênio surge na indústria, integrado ao processo de corte a plasma, pois nesse ano ele torna-se industrial e economicamente viável para o corte de materiais ferrosos. Essa característica deve-se ao fato de, até então, o emprego do oxigênio no processo de corte estar limitado ao emprego laboratorial e em estudos de velocidade de corte, sendo que, só no ano em questão, que o oxigênio pode entrar definitivamente no processo. Com esta nova tecnologia o oxigênio passa a transformar-se no gás de plasma e assim a energia do processo tem origem em duas fontes: a do arco plasma em si e a da reação química exotérmica de oxidação do ferro, amplificando assim a energia do processo e ampliando a sua eficiência com o resultado temos o aumento da velocidade de corte com ainda uma melhora considerável na qualidade do corte.

Contudo, segundo Joaquim e Ramalho (1996), esse processo apresenta algumas desvantagens:

- Deficiência no esquadreamento do corte.
- Excesso de material removido.
- Pequena vida útil do bocal.
- Limitações quanto o material a ser cortado (somente aço carbono).

2.2.10. Outras tecnologias

Com este mesmo foco, Lima (2006) destaca o surgimento em 1989 do bocal protetor com isolamento elétrica, o qual minimiza primeiramente a formação do arco duplo e aumenta a vida útil dos consumíveis por consequência.

De acordo com Lima (2006) cria-se em 1990 a associação de “sequências lógicas nos sistemas plasma com ajustes específicos de corrente, vazão e pressão de gás nos intervalos de início e fim de corte, conhecidos como tecnologia ‘Long Life’”. Essa tecnologia apresenta melhores efeitos nos processos que utilizam oxigênio como gás de plasma. Além das sequências lógicas, nessa tecnologia foi melhorado o projeto do eletrodo em si, adicionando um inserto de ráfnio de menor diâmetro, ampliando-se a capacidade de refrigeração do eletrodo.

Aparece, conforme ressalta Lima (2006), nessa década o plasma conhecido como plasma de alta definição. Essa tecnologia consiste em “um orifício reduzido no bico e um canal extra para saída de excesso de gás plasma resultando num corte praticamente sem chanfro e sem geração de escória”. Desta forma, o plasma de alta definição começou a satisfazer a exigências, cada vez maiores, sobre uma qualidade de corte cada vez melhor, surgindo desta maneira o próprio nome desse processo. Na figura 2.10 encontra-se um esquema desta caneta.

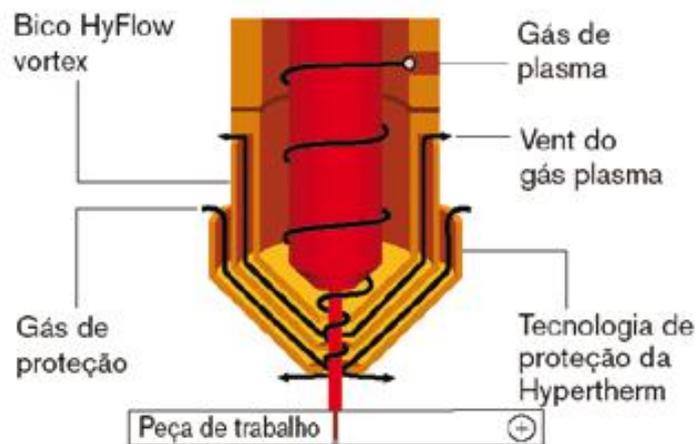


Figura 2.10.:Esquema de uma caneta do processo plasma de alta definição.

Fonte: Revista da Soldagem ano 2 nº9 (2006, página 19).

Na sua publicação, Lima (2006) cita ainda, que no ano 1993 surge um processo que utiliza um “jato de ar auxiliar aplicado coaxialmente ao jato de plasma”, fazendo com que esse processo crie uma força de constrição aumentando assim a eficiência do jato e conseqüentemente conseguiu-se aumentar a velocidade e diminui-se o ângulo de corte. Já em 2004, ele menciona, a incorporação de novas tecnologias ao processo de corte plasma de alta definição visando melhorar o desempenho e consistência do processo. Criou-se desta maneira o processo

Hyperformance conhecido como plasma de alto desempenho. Na figura 2.11 encontra-se um esquema de uma caneta com a tecnologia de corte coaxial.

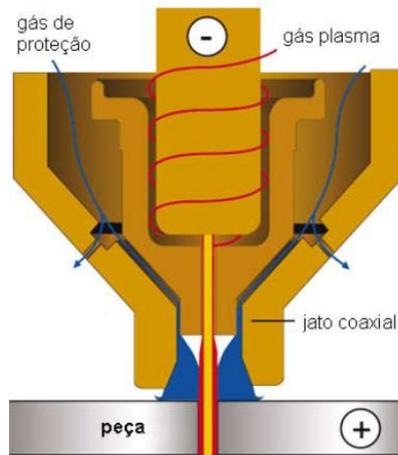


Figura 2.11.Esquema de uma caneta com tecnologia de corte coaxial.

Fonte: Revista da Soldagem ano 2 n°9 (2006, página 20).

Atualmente as empresas no país vem substituindo processos de fabricação mais caros, como por exemplo o laser, no qual anteriormente não se tinha tecnologia razoavelmente boa para cortar peças com uma certa tolerância pelo processo a plasma, porém atualmente em alguns casos o plasma de alta definição vem substituindo gradativamente o laser com uma qualidade um pouco inferior é verdade, mas com um custo vezes menor tanto hora trabalhada quanto perante o custo de manutenção; ou ainda substituindo processos mais lentos como o oxicorte, que além de ser mais lento, utiliza uma reserva energética alta e muitas vezes o corte de chapas finas é inviabilizado, tendo em vista que ao aplicar muito calor em chapas finas essas deformam facilmente.

2.3. Processo de corte de chapas a plasma

Após ressaltar a história do processo plasma e suas variáveis, Lima (2006) menciona que esse processo “utiliza um bico com orifício otimizando-o para restringir um gás ionizado em altíssima temperatura, tal que possa ser usado para derreter seções de metais condutores”. Ressalva ainda, o aspecto desse “gás eletricamente condutivo (plasma)” ser utilizado para conduzir a energia fornecida pela fonte plasma (energia de caráter negativo) até o ponto do material a ser cortado.

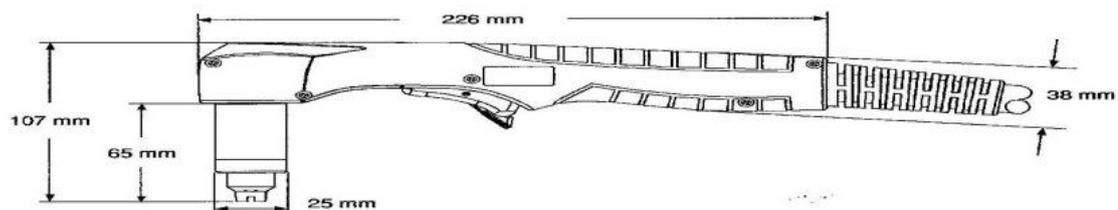
2.3.1. Elementos constituintes do processo

2.3.1.1. Tocha

De acordo com Lima (2006), a tocha tem a função de servir como sustentação para os demais consumíveis como por exemplo o difusor, o bico e o eletrodo. Além desse função podemos verificar que esse elemento fornece um fluido cuja função principal é a de refrigerar os consumíveis e assim aumentar a sua vida útil. Esse elemento refrigerante pode ser um gás ou ainda água.

Segundo a Hypertherm (2003) abaixo demonstra dois tipos de tocha: a manual e a mecanizada (figura 2.12).

Dimensões da tocha manual T100



Dimensões da tocha mecanizada T100M

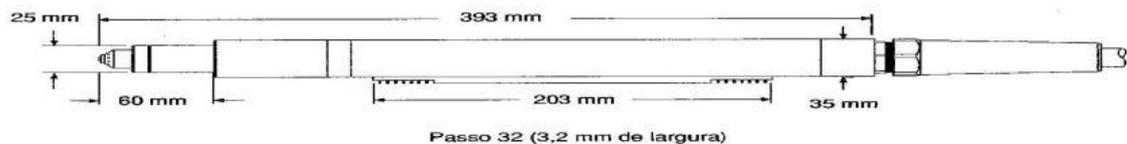


Figura 2.12.:Diferentes tipos de tocha T100M do processo plasma.

Fonte: Manual de operação 804487 revisão 1 Hypertherm (2003,página 2-5).

2.3.1.2. Difusor de gás

Segundo ainda Lima (2006) o difusor de gás é constituído por um material isolante como objetivo primário fornecer um “sentido rotacional ao gás”, pois Joaquim e Ramalho (1996) enfatizam a necessidade desse sentido rotacional, uma vez que quando o difusor de gás atua no intuito de gerar um sentido rotacional. Esse sentido rotacional aumenta, assim, a constrição do arco e por consequência aumenta a sua temperatura. Na figura 2.13 encontra-se um exemplo de difusor.



Figura 2.13.:Foto de um difusor de gás.

Fonte: Foto tirada por Luís Leonardo Packer Angeli (05.04.11).

2.3.1.3. Eletrodo

Outra definição que Lima (2006) nos fornece salienta que o eletrodo possui a função principal de conduzir a eletricidade (corrente) até o seu incerto de háfnio, e este por sua vez emite os elétrons para assim conseguir gerar o gás plasma (figura 2.14).



Figura 2.14.:Foto de um eletrodo 100A.

Fonte: Foto tirada por Luís Leonardo Packer Angeli (05.04.11).

2.3.1.4. Bico

A principal função desse consumível é a de constringir o plasma e então o guiar até o elemento a ser cortado, de acordo com Lima (2006). A figura 2.15 traz um exemplo do bico.



Figura 2.15.:Foto de um bico 100A.

Fonte: Foto tirada por Luís Leonardo Packer Angeli (05.04.11).

2.3.1.5. Capa

De acordo com a Hypertherm (2003), a capa apresenta como função “manter os consumíveis alinhados e isolar a parte elétrica do bocal frontal”, sendo que o “bocal frontal guia o fluxo de jato de ar coaxial”. Com isso como o bocal é isolado e também refrigerado, esse pode ser apoiado na chapa de acordo com Lima (2006). Visualiza-se um exemplo de capa na figura 2.16.



Figura 2.16.:Foto de uma capa.

Fonte: Foto tirada por Luís Leonardo Packer Angeli (05.04.11).

2.3.1.6. Montagem

A montagem deve seguir algumas diretrizes para o bom funcionamento do sistema, portanto o manual Hypertherm (2003) demonstra exatamente como montar cada um dos elementos discutidos anteriormente e também o seu código para a

compra de novos componentes. Na figura 2.17 encontra-se a montagem da tocha mecanizada T100M para diferentes amperagens.

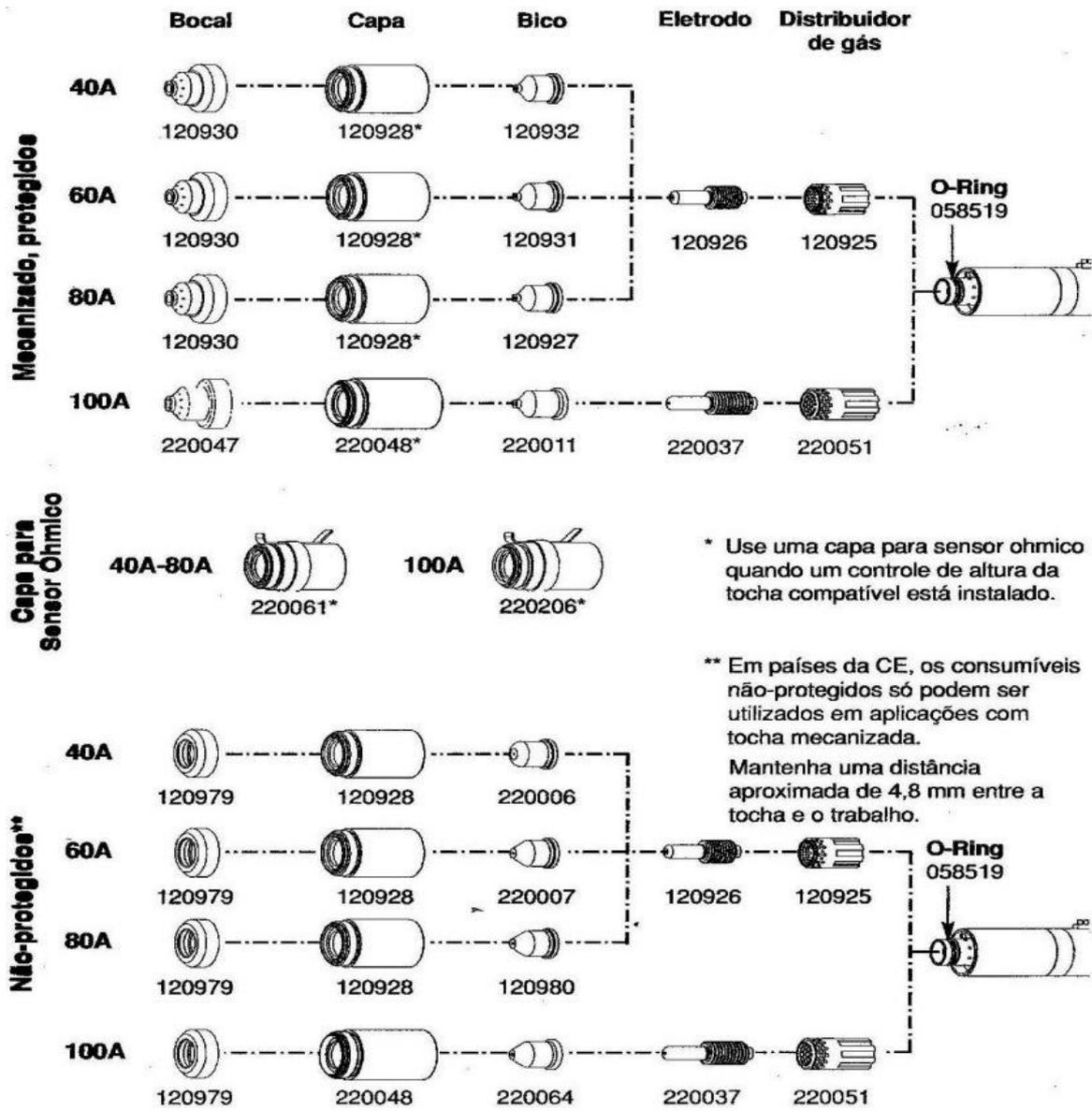


Figura 2.17.: Montagem de uma tocha mecanizada para diferentes amperagens.

Fonte: Manual de operação 804487 revisão1 Hypertherm (2003, página 4-5).

2.4. Princípio de funcionamento

Joaquim e Ramalho (1996) subdividem o arco plasma quanto ao tipo de transferência da corrente elétrica, uma vez que se esta flui entre o eletrodo e o bocal da tocha é classificada como não transferida, porém quando a corrente elétrica flui entre a peça a ser cortada (funcionando como ânodo da reação) e a tocha plasma

(cátodo) é chamada de arco transferido. O mais utilizado para o processo de corte é o arco transferido, uma vez que, mesmo se o calor emerja do bocal nos dois parâmetros a absorção de calor (heat input) da peça “é mais eficiente quando o arco está em contato elétrico com a peça de trabalho”. Esse aspecto ressalta-se na figura 2.18.

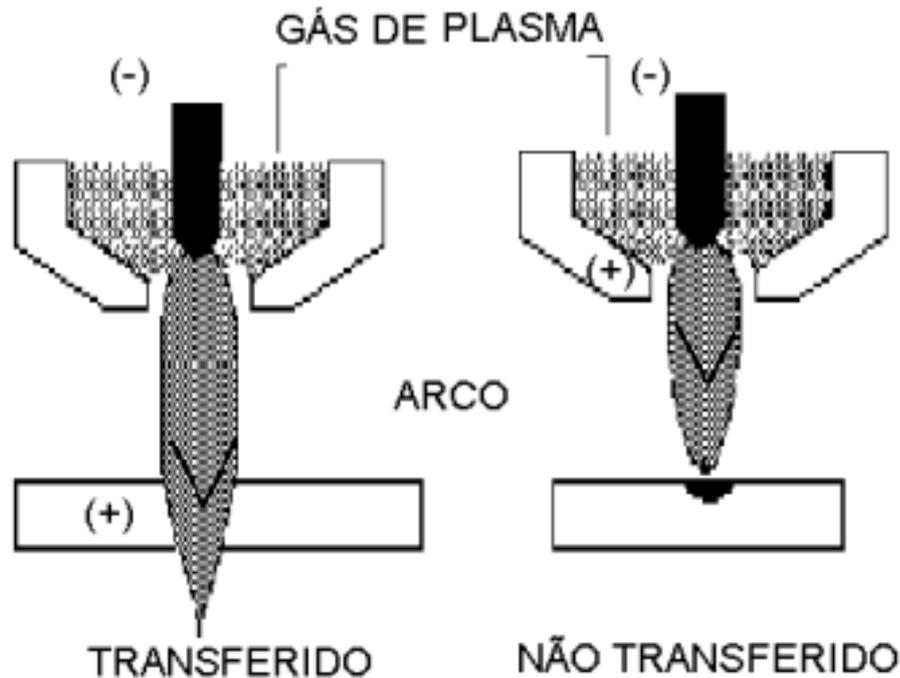


Figura 2.18.:Esquema de arco transferido e não transferido.

Fonte: <www.infosolda.com.br/download/62ddn.pdf> (acessado em 14.05.11 às 13:25).

2.4.1. Sequência de operação

Um sinal de partida (Start) é enviado à fonte plasma. Simultaneamente a tensão do arco aberta (OCV) e os gases são transmitidos à tocha. Quando a vazão é estabilizada, a alta frequência (HF) é ativada. A HF aparece entre o eletrodo e o bico dentro da tocha e o gás se ioniza ao passar pelo arco (LIMA, 2006).

Lima (2006) ainda continua mencionando, o fato de esse gás ser eletricamente condutor, criando assim um caminho para a corrente entre o bico e o eletrodo, formando o que Lima chama de “arco piloto”. Quando esse arco piloto consegue um contato com a peça, ele transfere-se para a peça. O arco de plasma derrete o metal e com a injeção do gás em alta velocidade, o metal líquido é expulso da poça de fusão.

2.4.2. Métodos de partida

2.4.2.1 Partida por contato

De acordo com Lima (2006), quando em repouso, o eletrodo e o bico estão em contato (entrando em um curto-circuito) e ligados à fonte plasma. Quando iniciado o processo, as pressões dos gases os distanciam, criando um arco, sendo esse de corrente contínua. Este método é utilizado em sistemas de pequena escala como ilustrado na figura 2.19.

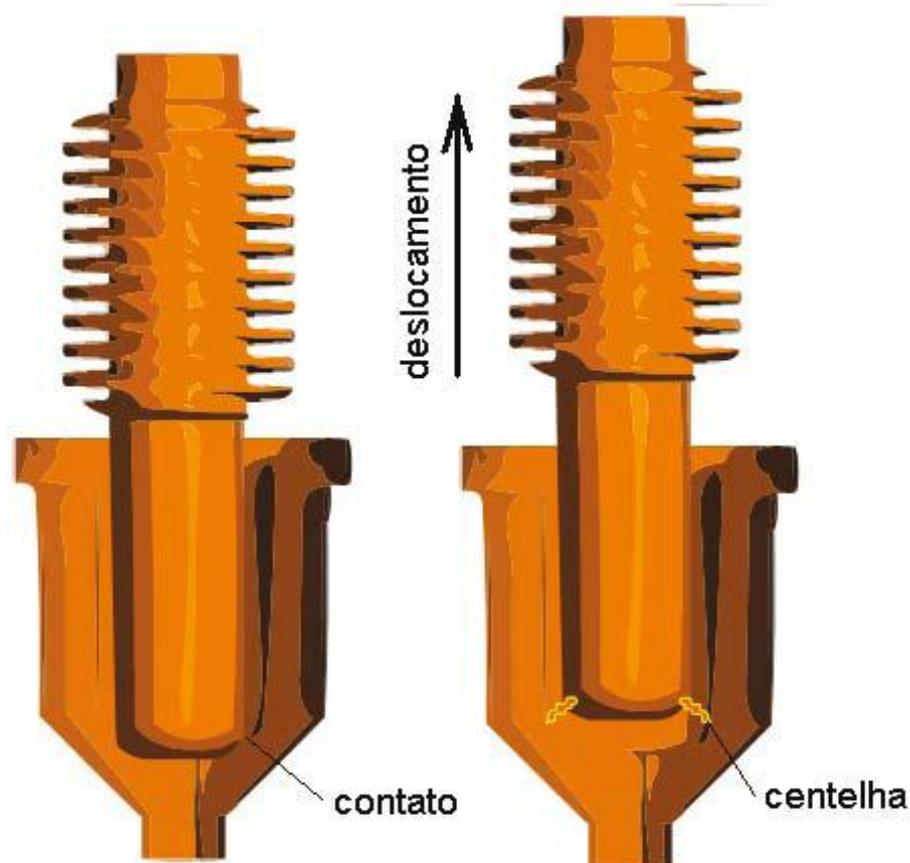


Figura 2.19.:Partida por contato.

Fonte: Revista da Soldagem ano 2 n°9 (2006, página 21).

2.4.2.2 Partida por alta frequência

Neste método ressalva Lima (2006), que o elemento iniciador da partida é a própria tensão elétrica, pois quando essa é alta (5 a 10 kVCA) essa é utilizada para

gerar o arco piloto. Este método é empregado em sistemas com eletrodos refrigerados por líquido, porém este método gera ruídos na rede elétrica, logo requer um aterramento bom, para assim proteger os equipamentos eletrônicos ligados na mesma rede da máquina de corte.

2.5. Seleção e tipos de gases

Lima (2006) aborda que o gás no processo plasma possui duas funções principais: serve inicialmente como insumo para criação do gás plasma e também serve como refrigeração dos consumíveis na maioria dos casos e uma terciária função em sistemas com partida por contato: separar o eletrodo do bico. Como ele ressalta, a diferença de potencial elétrico é o que aquece o gás plasma, logo a qualidade e eficiência do processo está associada com a qualidade do gás.

Conforme Lima (2006) reforça, em grande parte dos sistemas manuais, essas duas funções são realizadas por uma única fonte de suprimento, tornando a vazão nesse caso como um fator de extrema importância para o desempenho do processo. Se a vazão, nesse caso for alta, os consumíveis serão bem refrigerados, porém o gás plasma será de péssima qualidade. Já se a vazão for insuficiente além do plasma ser de baixa qualidade e vida do consumível cairá drasticamente. A fim de balancear os benefícios e malefícios desses sistemas, a vazão é mais elevada se compararmos com sistemas de múltiplos gases.

Junior (2009) diz que a principal vantagem dos sistemas com múltiplos gases está no fato da escolha mais adequada do gás para determinado processo. Para visualizar as vantagens de cada gás, Lima (2006) sintetiza em dois quadros: o quadro 2.1 demonstra as características dos gases quando escolhidos para a aplicação de plasma, porém no quadro 2.2 demonstra as características dos gases escolhidos para a aplicação de gás de proteção. Já no quadro 2.3 está discriminada a recomendação dos gases por espessura a cortar.

SELEÇÃO DO GÁS DE PLASMA			
Gás	Recomendado para	Vantagens	Desvantagens
AR	<ul style="list-style-type: none"> • Aço Carbono • Alumínio • Aço Inox 	<ul style="list-style-type: none"> • Corte limpo e rápido em aço carbono • Conveniente • Baixo custo 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa vida do eletrodo • Nitretação da superfície de corte • Oxidação em Inox e Alumínio
Nitrogênio	<ul style="list-style-type: none"> • Aço Inoxidável • Alumínio • Aço Carbono 	<ul style="list-style-type: none"> • Bom acabamento em Inox e Alumínio • Excelente vida útil dos consumíveis • Custo relativamente baixo 	<ul style="list-style-type: none"> • Nitretação da superfície de corte • Custo relativamente alto para sistemas manuais que requer alta vazão.
Misturas de Argônio e Hidrogênio	<ul style="list-style-type: none"> • Aço Inoxidável • Alumínio 	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente qualidade e velocidade de corte em espessuras acima de 12 mm • Menos fumaça e fumos 	<ul style="list-style-type: none"> • Caro • Não recomendado para Aço Carbono
Oxigênio	<ul style="list-style-type: none"> • Aço Carbono 	<ul style="list-style-type: none"> • Maior velocidade de corte • Superfície livre de nitretação • Menor angularidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Baixa vida útil dos consumíveis • Não aplicável em Inox ou Alumínio

Quadro 2.1.: Seleção do gás de plasma.

Fonte: Revista da Soldagem ano 2 nº9 (2006, página 24).

SELEÇÃO DO GÁS DE PROTEÇÃO			
Gás	Usado com:	Vantagens	Desvantagens
AR	<ul style="list-style-type: none"> • AR • Nitrogênio • Oxigênio 	<ul style="list-style-type: none"> • Conveniente • Baixo custo 	<ul style="list-style-type: none"> • Nitretação na superfície de corte
Dióxido de Carbono	<ul style="list-style-type: none"> • Nitrogênio 	<ul style="list-style-type: none"> • Boa proteção para vários tipos de metais • Boa vida útil dos consumíveis • Maior flexibilidade de parâmetros 	<ul style="list-style-type: none"> • Inconveniente (Pode requerer console de gás específico) • Superfície de corte rugosa
Nitrogênio	<ul style="list-style-type: none"> • Nitrogênio • Argônio/Hidrogênio 	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente qualidade de corte em Inox e Alumínio • Boa vida útil dos consumíveis 	<ul style="list-style-type: none"> • Nitretação da superfície de corte • Menor flexibilidade de parâmetros • Menor vida útil dos consumíveis (comparado ao C O₂)
Água	<ul style="list-style-type: none"> • Nitrogênio • Argônio/Hidrogênio • Oxigênio 	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente qualidade de corte em Inox e Alumínio • Menos fumos 	<ul style="list-style-type: none"> • Sujeira • Requer água de alta qualidade

Quadro 2.2.: Seleção dos gases de proteção.

Fonte: Revista da Soldagem ano 2 n°9 (2006, página 25).

Material	Espessura	Gás Plasma	Gás de Proteção
Aço Carbono	< 6 mm	O ₂	O ₂
Aço Carbono	> 6 mm	O ₂	AR
Aço Inox	<10 mm	95% N ₂ – 5% H ₂	N ₂
Aço Inox	>10 mm	65% Ar – 35% H ₂	N ₂
Alumínio	<8 mm	AR	AR
Alumínio	>8mm	65% Ar – 35% H ₂	N ₂

Quadro 2.3: Recomendações de gases por espessura e material.

Fonte: Revista da Soldagem ano 2 n°9 (2006, página 25).

3. Processo de corte oxi-combustível

Ao longo do processo produtivo do aço são necessários diversos procedimentos de conformação da matéria prima, dentre os quais se destaca principalmente o corte. Esse processo atinge desde matéria prima processada (chapas novas), até mesmo no processamento de sucatas, as quais são cortadas em tamanhos razoáveis para assim facilitar o seu processamento.

De acordo com Ramalho (2010), dividimos esses processos em 4 tipos distintos:

- **Mecânicos:** com a característica de realizarem o corte por cisalhamento ou ainda por remoção de cavaco. Guilhotina e serra de fita são exemplos dessa classe.
- **Através da fusão do metal:** corte através da fusão de uma fina camada do material utilizando-se uma fonte de calor a qual pode ser um arco elétrico, plasma ou maçarico.
- **Através da associação entre a fusão e vaporização:** os processos de corte que se enquadram nessa categoria utilizam o princípio da concentração de energia como característica principal de funcionamento sem levar em consideração a origem da fonte de energia. Estão nessa classificação o corte a Laser, jato d'água e algumas variações do processo plasma.
- **Através de reações químicas:** procedimento de corte que se utilizam de um corte combinado, o qual envolve o aquecimento através de chama e reações exotérmicas, somado a oxidação do metal e posterior expulsão do líquido através de um jato de O_2 . O exemplo mais conhecido é o oxicorte.

Atualmente o oxicorte é um processo industrial que está em plena substituição por processos de corte cada vez mais rápidos, porém ainda não foi totalmente substituído devido ainda a ser mais barato e também a cortar faixa de espessuras maiores que o plasma por exemplo.

Como esse método ainda é utilizado na indústria como alternativa a processos que são mais caros ou ainda não consigam atingir o grau de liberdade que esse método atinge, aborda-se algumas características desse processo.

3.1 Conceitos do processo

Segundo Ramalho (2010), oxicorte é: “um processo de seccionamento de metais pela combustão localizada e contínua devido à ação de um jato de O₂ de elevada pureza, agindo sobre um ponto previamente aquecido por uma chama oxí-combustível”.

Já o Telecurso 2000 (2009) resume o processo: “oxicorte é um dos processos de corte que se fundamenta na erosão do material por meio da ação do calor (erosão térmica) ¹”. Ainda fundamenta que, para a realização do corte, o material a ser cortado deve ser aquecido até a temperatura que o Telecurso chama de “temperatura de ignição”, após essa etapa o metal é submetido a um Jato de Oxigênio puro causando a sua oxidação (em 1350°C a reação de oxidação ocorre de maneira quase instantânea). Essa reação de oxidação é exotérmica o que provoca a fusão do óxido que logo em seguida é expulso da poça de fusão pelo oxigênio, promovendo assim o corte. Nesse processo a energia é produzida através de uma mistura oxigênio e combustível, o qual pode ser hidrogênio, butano, propano e acetileno. A maioria desses gases tem baixa capacidade térmica tornando o processo mais difícil de ocorrer.

3.2. Princípios de funcionamento

Ramalho (2010) fundamenta o processo de oxicorte em condições básicas, as quais devem ser atendidas para que ocorra o processo. São elas:

- A temperatura do início da oxidação deve ser inferior à temperatura de fusão do material a ser cortado (o quadro 3.1 mostra o ponto de fusão de cada metal em comparação com o seu óxido mais comum).
- Uma vez iniciada a oxidação, a temperatura da reação entre combustível e comburente deve gerar uma temperatura (reação exotérmica) suficientemente alta a fim de manter a temperatura ideal de oxidação.

¹ **Erosão térmica:** separação de partículas de material por meio do calor gerado pela ignição de gases, arco voltaico, raios laser etc. TELECURSO 2000 (2009).

- Ao ser formado os óxidos, esses devem se liquefazer a temperatura que o processo está gerando, para assim facilitar seu escoamento e promover o corte em si.
- Os óxidos formados devem possuir boa fluidez.
- O material a ser cortado deve possuir baixa condutividade térmica.

Ponto de fusão de metais e ponto de fusão do óxido mais comum desses metais		
Metais	Ponto de fusão	Ponto de fusão do óxido mais comum
Alumínio (Al)	660°C	2050°C
Cobre (Cu)	1083°C	1150°C
Cromo (Cr)	1890°C	2275°C
Ferro (Fe)	1535°C	1370°C
Manganês (Mn)	1247°C	1785°C
Níquel (Ni)	1453°C	1985°C

Quadro 3.1.: Comparação entre ponto de fusão do metal com seu óxido mais comum.

Fonte: Telecurso 2000 <<http://www.essel.com.br/cursos/material/01/ProcessosFabricacao/63proc.pdf>> (acessado em 13.05.11 às 13:47).

De acordo com o quadro, podemos cortar somente o óxido de ferro, os demais após a combinação com o oxigênio eles não atendem o princípio do oxicorte do ponto de fusão ser mais baixo que o metal.

Ainda segundo Agostini (2006), o ferro em seu estado metálico, possui a característica química de tender a associar-se com oxigênio. Esse processo de corte em questão acelera essa formação de óxido, podendo ocorrer três reações químicas distintas (ambas exotérmicas) entre o átomo de ferro com oxigênio:

- $Fe + \frac{1}{2}O_2 \Leftrightarrow FeO + \Delta(64kcal);$
- $2Fe + \frac{3}{2}O_2 \Leftrightarrow Fe_2O_3 + \Delta(109,7kcal);$
- $3Fe + 2O_2 \Leftrightarrow Fe_3O_4 + \Delta(266kcal).$

Mencionando ainda o funcionamento do processo Ramalho (2010), diz que a principal função da chama oxi-combustível é a de aquecimento do metal a cortar. O processo se dá inicialmente aquecendo a região a ser cortada através de uma perfuração na chapa ou ainda pelo aquecimento da borda, aquecendo a área até que está atinja a temperatura ideal. Uma vez atingida essa temperatura, a válvula de

Oxigênio para corte é aberta e o operador começa a deslocar a caneta ao longo da área desejada de corte.

Agostini (2006) diz que outro aspecto muito importante no corte dos metais, é a presença de elementos químicos na liga, ou seja cada elemento presente no metal a ser cortado, adicionado para aumentar ou melhorar determinada característica para a sua aplicação, no processo de oxicorte esses elementos podem facilitar o corte ou ainda o inviabilizar. O quadro 3.2 expõe a influência do elemento no processo de oxicorte.

Elementos químicos	Proporção	Cortável	Não cortável	Observações
Manganês (Mn)	13% de Mn e 1,3% de C	X		Facilmente cortável
	18% de Mn e 1,3% de C		X	Quantidades elevadas de Manganês não permitem o corte.
Silício (Si)	2,5% de Si e 0,2% de C	X		O corte é limpo.
	3,8% de Si e 0,4% de C	X		O corte é dificultado.
	mais de 12% de Si		X	Quantidades elevadas de Silício não permitem o corte.
Cromo (Cr)	1,5% de Cr	X		
Níquel (Ni)	7% de Ni	X		Facilmente cortável.
	35% de Ni e 0,3% de C	X		É cortável somente se contiver até 0,3% de C. Caso contrário às bordas tornam-se muito duras.
Cobre (Cu)	0,5% de Cu	X		Cortável como aço comum.
Molibdênio (Mo)	8% de W , 1,4% de Cr, 1% de C e 5,5% de Mo		X	O Molibdênio limita a cortabilidade. Se não houver Molibdênio, a liga é cortável.
Tungstênio(W)	5% de Cr e 0,2% de Si até 8% de C e até10% de W	X		Se a liga contiver Tungstênio acima de 20%, ela não será cortável.
Fósforo(P)	2% de P	X		O Fósforo influi muito pouco na cortabilidade.
Enxofre (S)	3,5% de S	X		O Enxofre contido em aços também não atrapalha a cortabilidade.

Quadro 3.2.: Influência da presença de elementos químicos nos aços-liga no processo de oxicorte.

Fonte: Adaptado Telecurso 2000 <<http://www.essel.com.br/cursos/material/01/ProcessosFabricacao/63proc.pdf>> (acessado em 13.05.11 às 13:47).

3.3. Gases utilizados durante o processo

Junior (2009) menciona que para esse processo ocorrer, necessita-se de pelo menos dois gases, um chamado de oxidante (o gás utilizado é o gás Oxigênio) e o outro chamado de combustível. Esse último pode ser puro ou ainda uma mistura entre dois ou mais gases, dependendo a sua aplicação.

3.3.1. Oxigênio (O₂)

Agostini (2006) define o oxigênio como um gás inodoro, incolor, não tóxico e em comparação com o ar dissolvido na atmosfera é mais pesado. Apresenta pequena solubilidade tanto na água como no álcool. Compõe a atmosfera contribuindo em 23% da massa e 21% do volume, sendo assim um gás importantíssimo para a vida nesse planeta.

O oxigênio não é inflamável, porém é o gás que alimenta a combustão, e em contato com combustíveis, reage violentamente podendo gerar fogo ou ainda explosão dependendo do combustível em questão.

Perante o processo de oxicorte ele tem a função de reagir com o metal e também expulsar o óxido fundido.

3.3.2. Gases combustíveis para a chama de pré-aquecimento

De acordo com Ramalho (2010), gases combustíveis são os vários gases que podem ser utilizados para a ignição da reação e para a manutenção da chama de aquecimento. Ele cita como exemplos: Acetileno, Propano, Propileno, Hidrogênio, GLP e suas misturas.

Ainda diz que essa categoria de gases tem influência direta no custo do processo, uma vez que eles que ditam o consumo de Oxigênio e na temperatura da chama.

O gráfico 3.1 plota no plano cartesiano alguns gases em função da temperatura que conseguem atingir da chama (eixo y). Uma vez sabendo a mistura com a temperatura que a chama de determinado gás atinge, o gráfico determina um consumo de oxigênio teórico para uma reação de combustão completa.

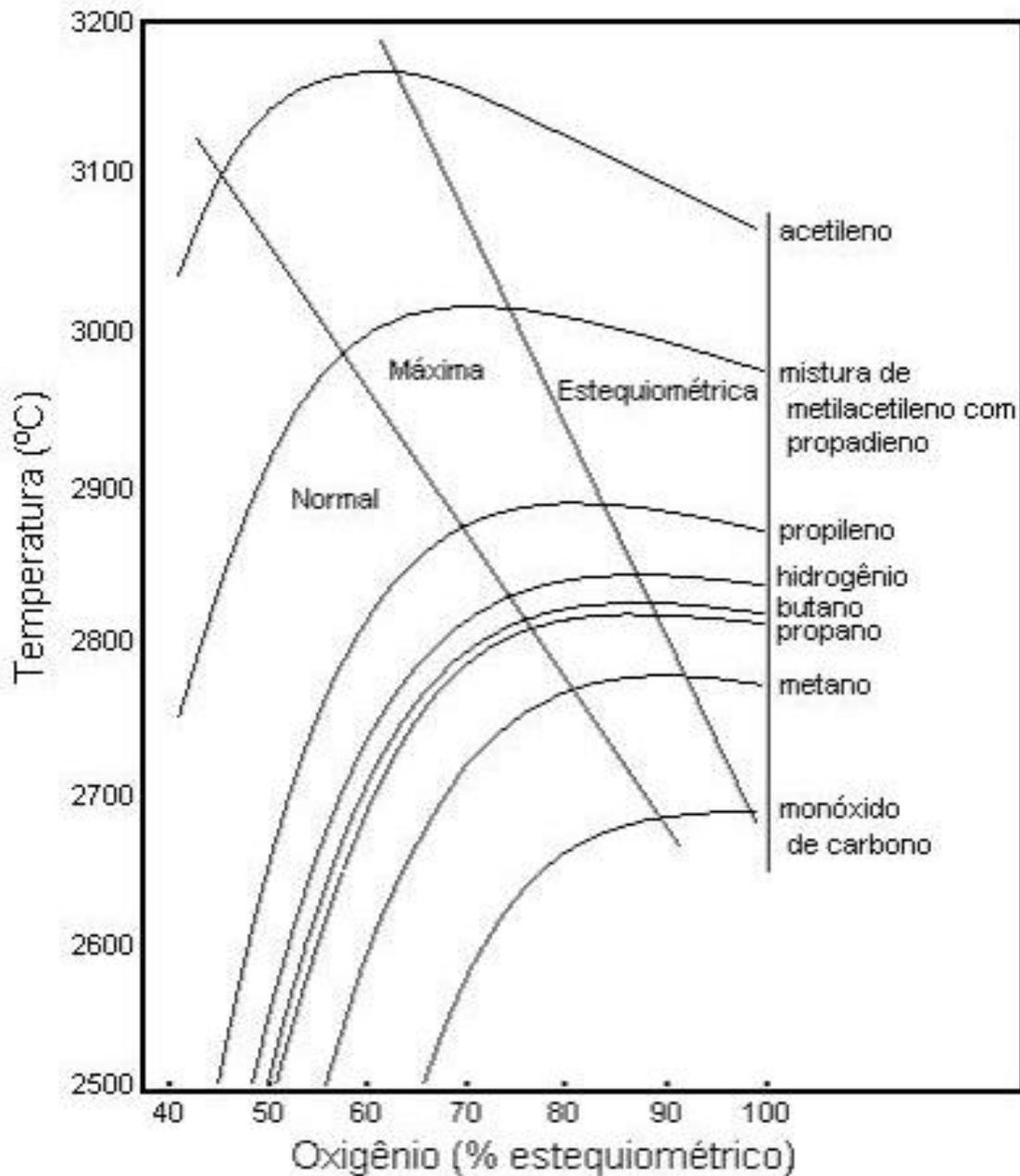


Gráfico 3.1.: Curva estequiométrica de combustão de diversos gases.

Fonte: Infosolda < <http://pt.scribd.com/doc/33526585/Processo-Oxicorte> > (acessado em 13.05.11 às 13:47).

Segundo Ramalho (2010), devido a uma questão comercial, por se tratarem de gases mais baratos, de fácil acesso e também por apresentarem características satisfatórias (chama com alta temperatura e baixo consumo de Oxigênio), no Brasil os gases mais comercializados e utilizados para tal função são o Acetileno e o GLP.

Para a seleção dos gases para combustível, diversos fatores devem ser ponderados:

- Espessura do material a ser cortado.

- Tempo necessário para pré-aquecimento do material.
- Quantidade de inícios de corte na borda ou perfurações no meio necessárias na operação.
 - Custo e forma de fornecimento do gás combustível (cilindros, tanques ou tubulação).
 - Custo do O₂ requerido para combustão completa.
 - Possibilidade de utilização do combustível em outras operações como soldagem, aquecimento ou brasagem entre outras.
 - Segurança no transporte e utilização do produto.

3.3.2.1. Acetileno (C₂H₂)

De acordo com Ramalho (2010), o Acetileno possui maior interesse industrial em comparação a outros gases, pois esse possui a maior temperatura de chama (chegando a 3160°C). Essa característica é atingida, pelo aspecto desse gás possuir o maior percentual de Carbono, em peso, se comparado aos outros gases. Outra característica marcante desse gás, é o fato da sua estabilidade a temperatura e pressões ambientes.

Agostini (2006) cita que esse gás é de fácil manejo, porém possui algumas normas de seguranças importantíssimas para evitar acidentes. A primeira norma é a orientação sobre o seu uso a pressões superiores a 1,5kg/cm², pois a essa pressão o gás se decompõe explosivamente. A segunda norma é a sua característica física de ser inodoro, pois sem um aditivo (que tem odor) não conseguimos o detectar e assim poderá ocasionar um vazamento seguido de uma explosão.

3.3.2.2. Gás liquefeito de petróleo ou GLP (C₃H₈ + C₄H₁₀)

Segundo Ramalho (2010), no Brasil esse gás é composto principalmente de dois gases, o propano e o butano. Ambos são hidrocarbonetos saturado, gerando um gás que é inodoro e incolor para concentrações abaixo de 2% no ar e também cerca de 1,6 vezes mais pesado que o ar. Esse gás também leva um aditivo com odor para segurança dos operadores.

3.4. Equipamentos

Basicamente o equipamento de oxicorte é constituído, segundo o Telecurso 2000 (2009), por dois cilindros (ou duas instalações armazenadoras), um de oxigênio e outro de acetileno, com manômetros específicos com a função de regular o fluxo de cada gás de acordo com o desejado. Como medida de segurança deve-se instalar válvulas corta-chamas entre os reguladores (manômetros) e as mangueiras. Essas válvulas evitam acidentes como explosões; inutilização de manômetros, cilindros e mangueiras; e até mesmo acidentes com possíveis óbitos de operadores. Abaixo está uma foto de um manômetro que explodiu por falta de equipamentos de segurança (figura 3.1).



Figura 3.1.:Foto de um manômetro de oxigênio após sofrer uma explosão.

Fonte: Foto tirada por Luís Leonardo Packer Angeli (25.03.10)

Além das válvulas corta-chamas, a norma de segurança determina que entre o maçarico e a mangueira, monte-se duas válvulas chamadas de contra fluxo (uma para oxigênio e a outra para o acetileno) com a função de impedir a entrada de oxigênio na mangueira de acetileno e vice e versa, pois caso ocorra essa mistura, poderá ocasionar uma explosão (fato já explicado no texto sobre acetileno).

As mangueiras como padrão, convencionou-se a utilização de mangueiras vermelhas para acetileno e preta ou a verde para oxigênio. Um esquema de uma central de oxicorte básica ilustra-se na figura 3.2.

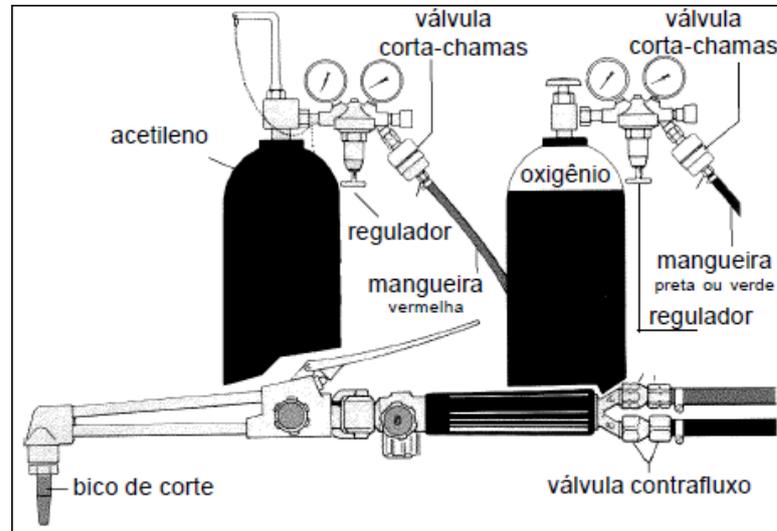


Figura 3.2.: Central de oxicorte básica e seus equipamentos.

Fonte: Telecurso 2000 <<http://www.essel.com.br/cursos/material/01/ProcessosFabricacao/63proc.pdf>> (acessado em 13.05.11 às 13:47).

3.4.1. Maçarico de corte

Agostini (2006) diz que esse equipamento tem a função de misturar o gás combustível com o Oxigênio de aquecimento para compor a chama com as características desejadas pelo operador para realizar o procedimento necessário. Além dessa função principal ainda destaca-se por direcionar o Jato de Oxigênio de alta velocidade para o bico de corte.

Existem diversos tipos de maçaricos de corte, conforme Agostini (2006) escreve, porém a sua constituição deriva de uma série de tubos de gás e válvulas de controle de fluxo dos gases e suporte para fixação do bico de corte, ou seja, eles possuem válvulas de oxigênio e de acetileno para ajuste da chama e um gatilho para o ajuste do oxigênio de corte.

3.4.1.1. Tipos de maçaricos

Agostini (2006) descreve que os maçaricos podem ser construídos de duas formas em relação ao seu bico. Na primeira forma construtiva, o bico de corte situa-

se a 90° em relação à base da caneta, caneta utilizada para cortes manuais. Já na segunda forma construtiva poderemos ter o bico e a caneta retos, utilizado principalmente no processo de corte semi-automatizado ou automatizado.

Segundo Ramalho (2010), os maçaricos de corte manuais são divididos em dois tipos, o combinado, o qual utiliza tanto o processo de corte como o de soldagem, só alterando a ponta da caneta, e mantendo a base do maçarico (na figura 3.3.) e o maçarico com circuitos separados de oxigênio e acetileno, sendo que a mistura é realizada no bico de corte (na figura 3.4.).

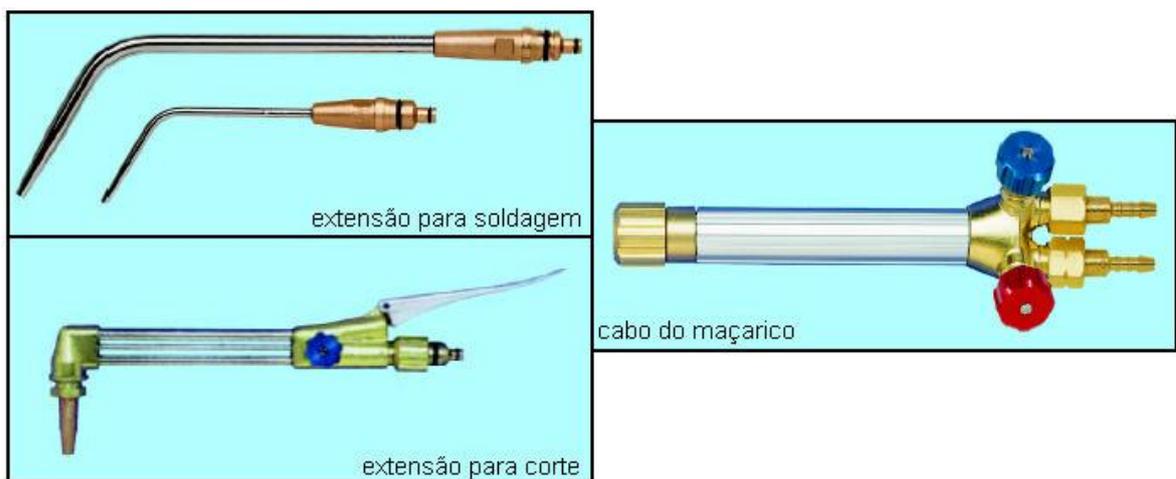


Figura 3.3.: Maçarico combinado para operações de soldagem e corte.

Fonte: Infosolda < <http://pt.scribd.com/doc/33526585/Processo-Oxicorte>> (acessado em 13.05.11 às 13:47).



Figura 3.4.: Maçarico com mistura no bico.

Fonte: Infosolda < <http://pt.scribd.com/doc/33526585/Processo-Oxicorte>> (acessado em 13.05.11 às 13:47).

Agostini (2006) enfoca a existência de dois tipos de maçaricos quanto ao tipo de forma com que os gases são misturados, os injetores (utilizando o oxigênio à média pressão e o acetileno a baixa pressão) e os misturadores (utilizando o

oxigênio e o acetileno à mesma pressão), portanto para utilizar no processo de corte, o melhor é o misturador.

Conforme Ramalho (2010), em maçaricos injetores o gás combustível é succionado, seguindo os princípios do tubo de Venturi, pela alta velocidade do Oxigênio, já nos misturadores os gases chegam à câmara de mistura com pressões iguais. A ilustração dos dois casos está na figura 3.5.

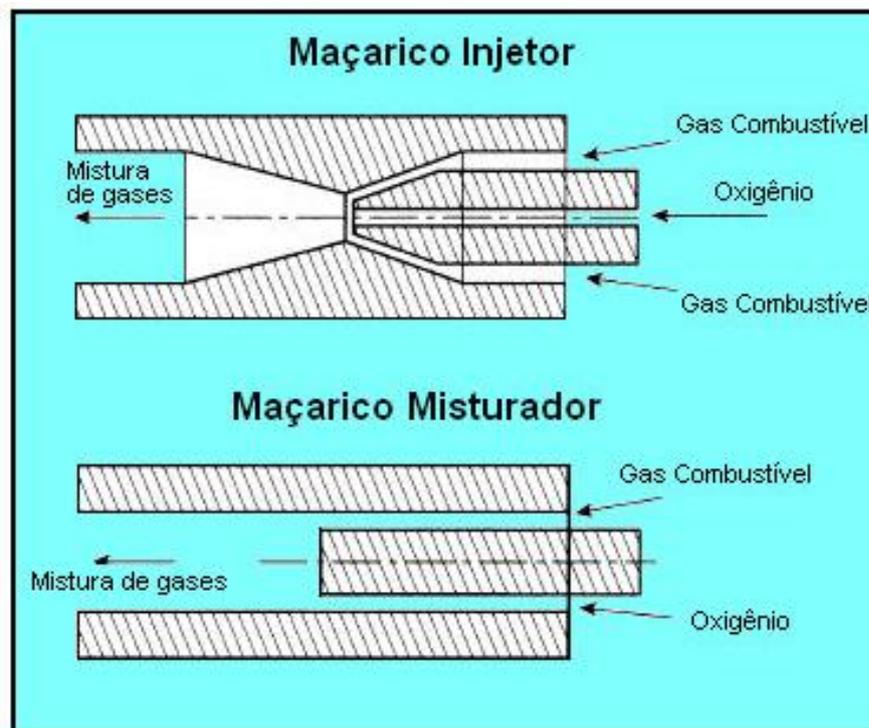


Figura 3.5.: Maçaricos com diferentes tipos de mistura.

Fonte: Infosolda < <http://pt.scribd.com/doc/33526585/Processo-Oxicorte> > (acessado em 13.05.11 às 13:47).

3.4.2. Bicos de corte

Ramalho (2010) cita que a principal função do bico de corte é a de separar o Oxigênio de aquecimento com o de corte e consequentemente direcionar esses gases para a peça a ser cortada através de seus orifícios. A dimensão mais importante para o bico é o diâmetro interno do canal do Oxigênio de corte, uma vez que é através desse orifício que a vazão e a pressão do Oxigênio são ajustadas de acordo com a necessidade. Como esse diâmetro é a dimensão mais importante no bico, ele dita a escolha e compra do bico de acordo com a faixa de espessura de material que o bico dá vazão suficiente para o corte.

Para Agostini (2006) cada fabricante possui um modelo próprio de bico de acordo com o encaixe na cabeça da tocha de sua fabricação e também consequentemente cada fabricante emprega uma determinada nomenclatura para seus bicos, assim para substituir o bico de determinada tocha, necessitamos conhecer, além da espessura a cortar, o mecanismo de corte e o seu modelo. Por se tratarem de bicos diferentes as variáveis físicas do processo (consumo de Oxigênio, velocidade de corte, características da superfície cortada, dentre outros) são muito diferentes quando comparadas, portanto para economia e um corte de qualidade devemos ponderar e muito as características particulares de cada fornecedor.

Os bicos possuem uma parte usinada a essa parte Ramalho (2010) dá o nome de sedes. A sede, além de ser a parte usinada do bico, essa fica em contato com a câmara de passagem dos gases.

Ramalho (2010) fala que a forma do canal de Oxigênio de corte determina a restrição a qual fará a passagem do gás, alterando a velocidade do gás e por consequência variará a velocidade do processo como um todo. Na figura 3.6 encontra-se alguns tipos de bicos.

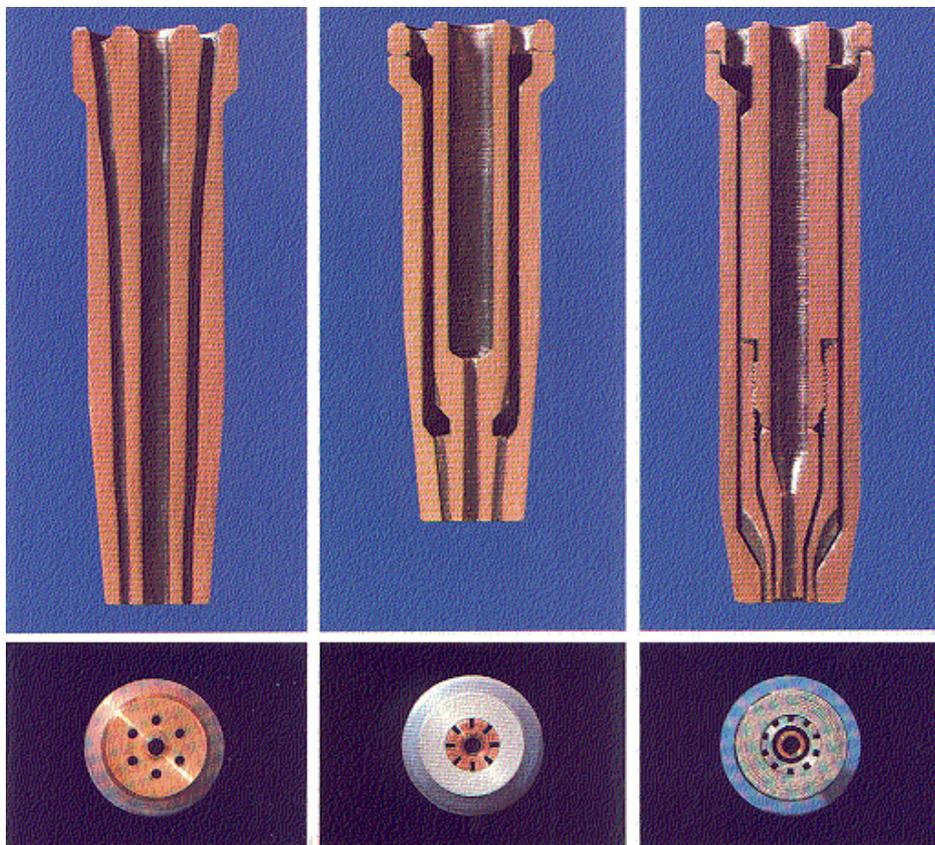


Figura 3.6.: Variedades de formas construtivas do canal de Oxigênio de corte.

Fonte: Infosolda < <http://pt.scribd.com/doc/33526585/Processo-Oxicorte> > (acessado em 13.05.11 às 13:47).

Agostini (2006) enfatiza que um dos cuidados com a manutenção do bico de corte é a limpeza constante, uma vez que como essa peça dita a qualidade do corte pelo direcionamento dos gases, se ocorrer de o orifício ser parcialmente obstruído, esse desviará o jato de corte, cortando a superfície com angulação. O procedimento correto para limpar-se o bico é aplicando-se produtos químicos nele. Na indústria, de forma geral, os operadores limpam esse bico através de um pente com diferentes diâmetros de agulha e a introduzem no orifício; esse procedimento está totalmente errado, uma vez que essa prática aumenta o diâmetro do canal, alterando as características do mesmo.

3.5. Mecanismos de corte

De acordo com Ramalho (2010), existem diversas maneiras de realizar-se o corte. Podemos oxicotar uma chapa desde manualmente (através de um maçarico portátil), até utilizando uma máquina de corte automatizada, a qual utiliza microprocessadores e softwares para melhor aproveitar a matéria prima.

Para escolha da máquina que melhor adapta-se a determinada aplicação, Ramalho (2010) diz a necessidade de observar:

- Capacidade de corte.
- Ângulo de inclinação do maçarico.
- Velocidade do corte.
- Quantidade de maçaricos suportada.
- Área útil de corte.
- Estabilidade do conjunto.
- Quantidade de mesas para o processamento de chapas.

3.5.1. Corte manual

Segundo o Telecurso 2000 (2009) para realizar-se o corte com qualidade necessita-se seguir alguns passos. Primeiramente deve-se selecionar o bico correto para a aplicação desejada. Segundo, deve-se abrir um pouco a válvula de Oxigênio de aquecimento e depois a de acetileno e então acender a chama (para apagar o

maçarico a ordem é oposta, primeiro fecha-se o acetileno e depois o Oxigênio, esse procedimento deve ser observado à risca, para evitar acidente por retrocesso de chama). O terceiro passo é regular o maçarico e então realizar o corte.

Para realizar o corte com qualidade, em determinadas situações, emprega-se o uso de alguns acessórios para o corte manual, a figura 3.7 ilustra bem algumas ferramentas.

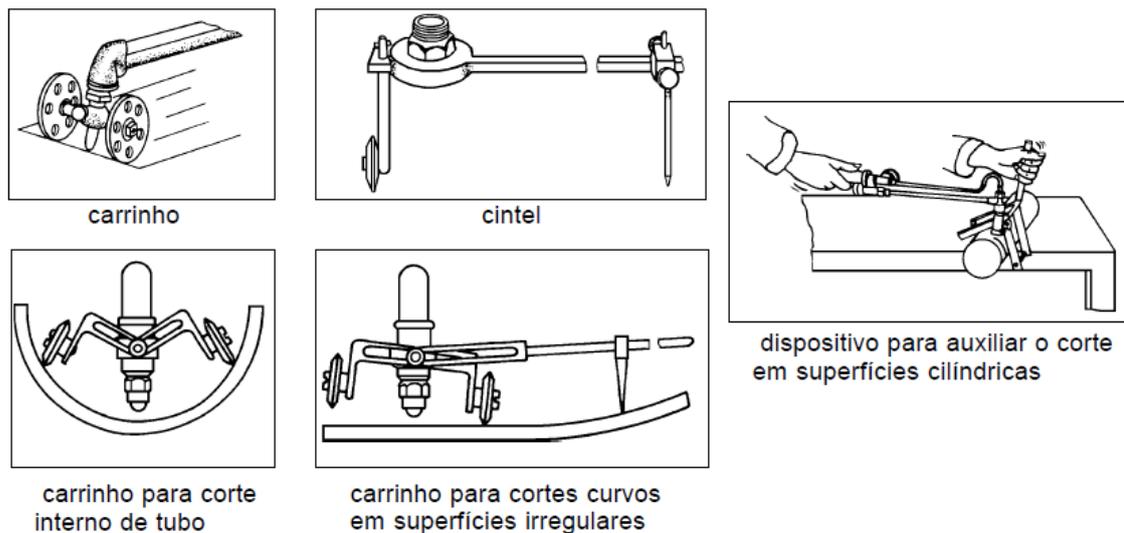


Figura 3.7.: Ferramentas para corte manual.

Fonte: Telecurso 2000 <<http://www.essel.com.br/cursos/material/01/ProcessosFabricacao/63proc.pdf>> (acessado em 13.05.11 às 13:47).

3.5.2. Máquina de corte portátil

Conforme Ramalho (2010), as máquinas de corte semiautomáticas ou máquinas de corte portáteis são aquelas compostas por: “um carro motriz, um dispositivo para a colocação de um ou mais maçaricos, um contrapeso, uma haste, um trilho e um controle simples de velocidade através de um potenciômetro. O maçarico de corte é acoplado no carro através de hastes” (figura 3.8).

Após iniciado o corte o operador pode alterar a distância do bico com a peça e também corrigir a trajetória. Esse tipo de máquina é utilizada em processos pouco repetitivos e onde a qualidade superficial não é tão importante, ou seja em obras e montagens de forma geral.

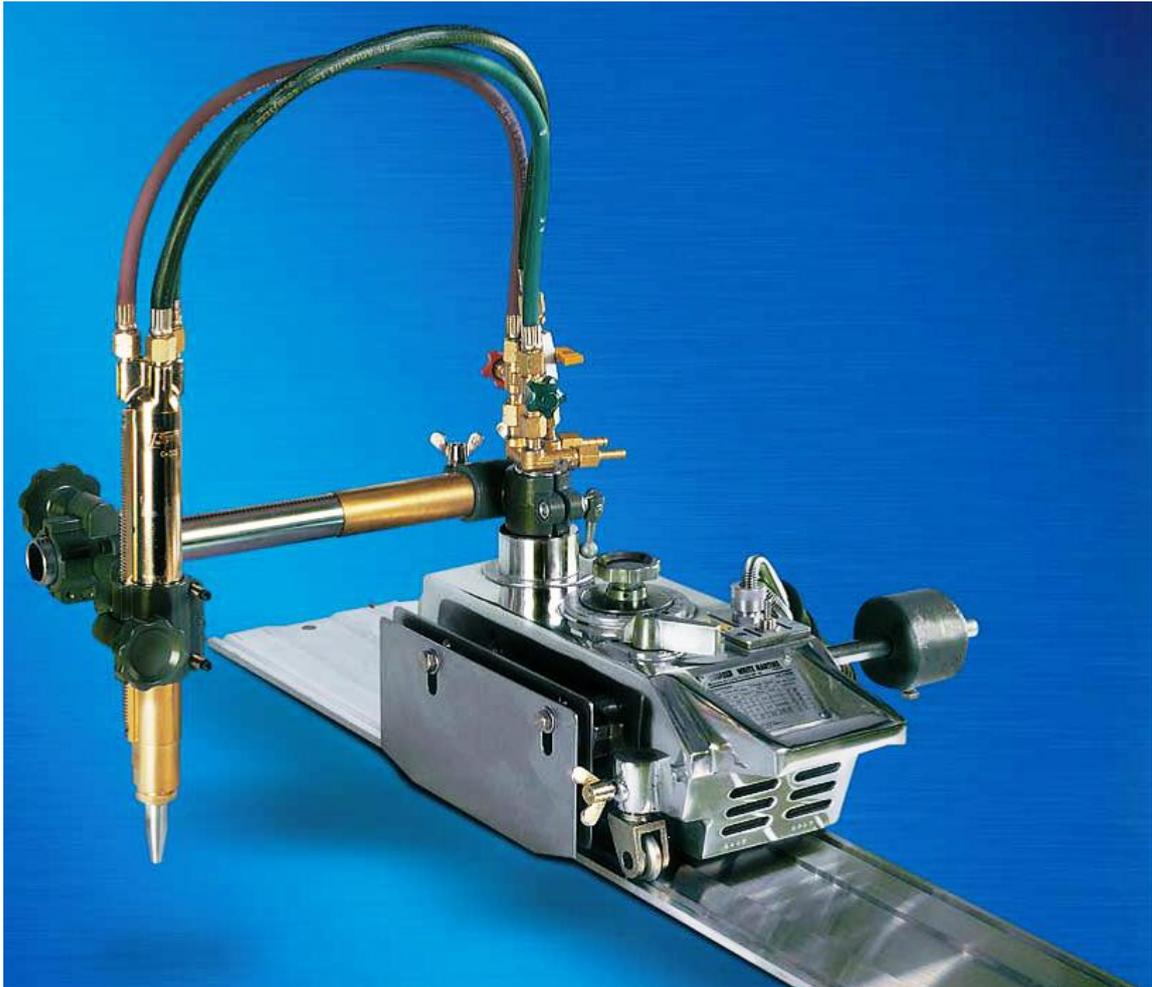


Figura 3.8.: Foto de uma tartaruga para cortes retos.

Fonte: Catálogo White Martins Máquina de corte MC-46(2011).

3.5.3. Máquina de corte pantográfica

Ramalho (2010) menciona que esses equipamentos são compostos por maçaricos presos em um dispositivo (fotoelétrico ou mecânico) com a função de copiar algo já produzido ou ainda algum desenho. Esses equipamentos são máquinas grandes, fixas no seu local de trabalho, porém são máquinas já com alguns recursos comandados eletronicamente, como a velocidade de corte. Possuem ainda mecanismos de controle da altura do bico. Agostini (2006) estuda algumas dessas variáveis:

- **Pré-aquecimento do metal de base.** Quando o metal é aquecido, pode-se diminuir a potência da chama de aquecimento e diminuir o diâmetro do bico, obtendo-se uma velocidade mais alta, porém em contra partida os custos do

processo serão maiores devido ao maior gasto energético para efetuar o aquecimento.

- **Espessura a ser cortada.** Essa variável determina a pressão dos gases e também a escolha do diâmetro do bico, e por consequência afetará a velocidade do corte. Para chapas cada vez mais grossas, aumenta-se o diâmetro do bico e a pressão de Oxigênio de corte, porém a velocidade de corte é reduzida.

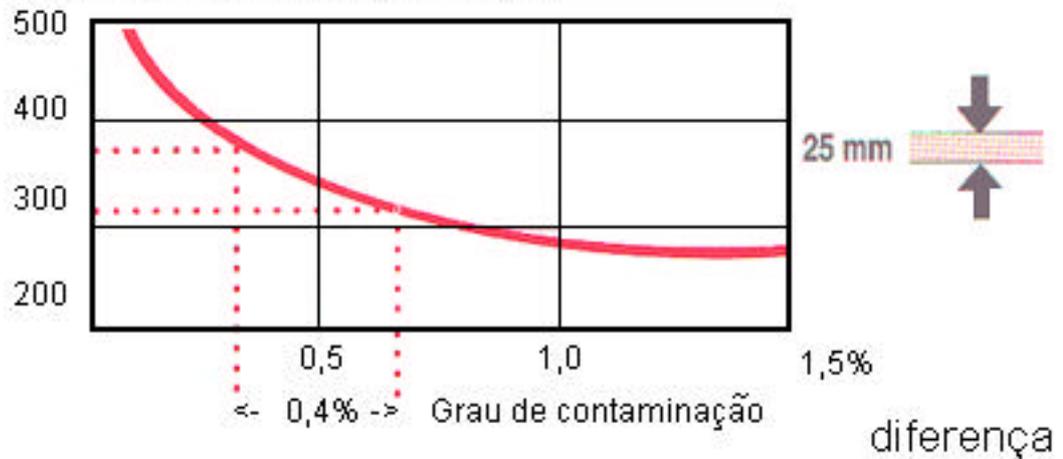
- **Grau de pureza do material a ser cortado.** De acordo com os elementos químicos presentes na liga a ser cortada, obtêm-se reações químicas diferentes com a formação de outros óxidos que podem dificultar ou até inviabilizar o processo (o quadro 3.2. aborda essa presença). Outro fator que se encaixa nesse tópico é a presença de tintas, óxidos e defeitos superficiais. Essa presença afeta do mesmo modo o processo e sempre que possível devem ser retiradas (quando há contaminação por pintura, muitas vezes a chapa a ser cortada deve ser jateada antes do corte. Já no caso de ferrugem a chapa deve ser escovada).

- **Pressão e vazão dos gases.**

- **Velocidade de avanço do maçarico.** Essa variável determina quase que exclusivamente o custo da operação de corte, pois conforme o operador varia esse aspecto, mudam-se o ângulo de corte e a qualidade da superfície de corte. Um avanço rápido provoca estrias grandes, podendo além de aumentar a rugosidade superficial, pode diminuir a peça. Em contra partida com um avanço lento melhora-se a qualidade superficial, mas com o custo da perda drástica de produção. Dito isso cabe ao operador determinar qual a velocidade ideal para cada faixa de espessura de chapa a ser cortada.

- **Grau de pureza do Oxigênio.** Quando o gás Oxigênio apresenta uma pureza adequada para o processo, ocorre a reação de oxidação ideal. Contudo quando esse grau de pureza é alterado (especialmente diminuído), altera-se a reação de oxidação do processo, diminuindo a velocidade de corte, e consumindo ainda mais gases por unidade de tempo para a mesma largura de sangria. Destacam-se essa afirmação nos gráficos 3.2 e 3.3 mostrando a influência da pureza do oxigênio na velocidade de corte.

Velocidade de corte em mm/min



Pureza do O ₂ de corte	99,7%	99,3%	0,4%
Velocidade de corte mm/min	395	335	15,0%

Gráfico 3.2.: Curva de variação da velocidade de corte em relação à pureza do Oxigênio em uma chapa de 25mm.

Fonte: Infosolda < <http://pt.scribd.com/doc/33526585/Processo-Oxicorte>> (acessado em 13.05.11 às 13:47).



Gráfico 3.3.: Curva de variação da velocidade de corte em relação à pureza do Oxigênio em uma chapa de 20mm.

Fonte: Infosolda < <http://pt.scribd.com/doc/33526585/Processo-Oxicorte>> (acessado em 13.05.11 às 13:47).

3.6. Defeitos do processo de corte

Conforme demonstrado por Ramalho (2010), um corte realizado pelo processo de oxicorte apresenta uma superfície lisa e regular, deixando as linhas de desvios verticais e a escória (chamada popularmente de borra) aderida na parte inferior sendo de fácil remoção quando bem regulado.

Após mencionado todas as características do processo e todas as variáveis a serem levadas em consideração, Ramalho (2010) ainda mostra através da figura 3.9 os principais defeitos ocorridos no processo e o motivo destes.

Ocorrência	Ilustração	Provável Causa
Goivagem na borda superior		Velocidade de corte excessiva; Bico sujo ou danificado
Goivagem na borda inferior		Velocidade de corte excessiva; Bico sujo ou danificado
Superfície de corte côncava		Velocidade de corte excessiva; Bico sujo ou danificado; Baixa pressão de O ₂ de corte
Superfície de corte convexa		Velocidade de corte excessiva; Bico sujo ou danificado; Baixa pressão de O ₂ de corte
Fusão da borda superior		Baixa velocidade de corte; Pouca ou muita distancia do bico à peça; Bico muito grande; Chama de pré-aquecimento excessiva
Gotas fundidas na borda superior		Pouca distancia do bico à peça; Chama de pré-aquecimento excessiva; Carepas ou ferrugem na superfície da chapa
Borda superior goivada com escória		Distância excessiva do bico à peça; Chama de pré em excesso; Pressão do O ₂ de corte excessivamente alta

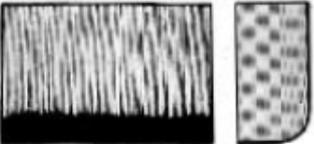
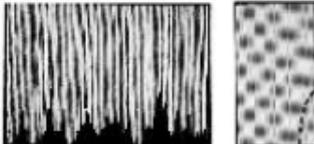
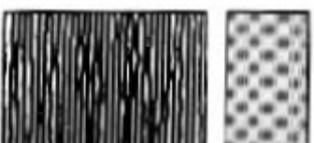
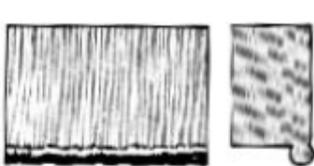
Borda inferior arredondada		Pressão do O ₂ de corte excessivamente alta; Bico sujo ou danificado; Velocidade de corte excessiva
Entalhe na superfície inferior do corte		Bico sujo ou danificado; Baixa velocidade de corte
Ondulações profundas		Alta velocidade de corte; Velocidade de corte desigual; Pouca distância bico/peça; Chama de pré-aquecimento muito forte
Grandes ondulações desiguais		Alta velocidade de corte; Velocidade de corte desigual; Chama de pré-aquecimento muito fraca
Corte incompleto		Velocidade de corte excessiva; Distância bico/peça muito grande; Bico sujo ou danificado; Chama de pré-aquecimento muito fraca; Retrôcesso no bico e maçarico; Carepas ou ferrugem na superfície da chapa; Chapa com inclusão de escória
Escória aderente na borda inferior		Carepas ou ferrugem na superfície da chapa; Bico muito pequeno; Chama de pré-aquecimento muito fraca; Alta ou baixa velocidade de corte; Distância excessiva do bico/peça; Baixa pressão do O ₂ de corte

Figura 3.9.: Principais defeitos e sua causas prováveis do processo de oxicorte.

Fonte: Infosolda < <http://pt.scribd.com/doc/33526585/Processo-Oxicorte> > (acessado em 13.05.11 às 13:47).

4. Estudo de Caso

O presente estudo de caso foi realizado na empresa Esos Equipamentos Industriais Ltda., uma conceituada empresa metalúrgica da região fundada no ano 1996, dedicando-se principalmente, desde sua fundação, a fabricação de equipamentos para a área de nutrição animal, porém também atua produzindo equipamentos para os mais diferentes ramos, como o do açúcar e álcool, mineração e fundição.

Atualmente essa empresa está localizada na cidade de Piracicaba em um parque industrial de 2.400 m². Desta área, 840 m² estão dedicados à área fabril. A Esos conta no momento com 30 colaboradores, sendo deste modo, considerada uma pequena empresa. Conta também com um maquinário composto por máquinas de solda MIG/MAG, máquinas de solda por eletrodo, furadeira radial, furadeira de coluna, furadeira eletroímã, retifica, esmeriladeiras, serras de fita, calandra, calandra de perfil, máquina de oxicorte semiautomática (tartaruga) e uma máquina de corte CNC. Essa última máquina serviu como base para esse estudo.

De acordo com o capítulo 2 e 3 existem diversas metodologias de trabalho tanto para o processo de oxicorte como o de plasma, e assim inúmeras formas construtivas de máquinas. Tendo isso em vista, ao comprar uma máquina, a empresa fez um estudo prévio a respeito da sua produção, ou seja, para encontrar uma máquina que melhor atendia as suas necessidades, essa criou um relatório com algumas variáveis:

- **Material de trabalho:** no caso perceberam que o maior volume de corte estava centralizado no aço carbono A36, enquanto o corte de aços inoxidáveis não chegava a 1% do volume produtivo mensal.
- **Espessura de corte:** a empresa apresenta inúmeras espessuras de corte, uma vez que, por ser uma caldeiraria, realiza uma produção sob encomenda, logo as espessuras de corte variavam de 2 mm até mesmo 6" (152,4 mm), estando mais concentradas na faixa entre 1/8" (3,175mm) até 2"(50,8mm).
- **Capacidade de corte longitudinal e lateral:** a empresa corta chapas comerciais, ou seja, as chapas compradas possuem algumas medidas pré-determinadas. Essa característica teve um peso importante na escolha da máquina,

uma vez que esta devia ter uma bancada com capacidade de corte para uma chapa de 2300mm x 6000mm.

A metodologia no mercado, atualmente, que melhor se adequaria a essas características produtivas, seria a união dos dois processos de corte da seguinte maneira: o processo de plasma com uma máquina possuindo mufla de água e bancada de água, seguindo as características mencionadas no item 2.2.6 do capítulo 2, para cortar chapas de aço carbono com até 2" (50,8mm) e acima dessa espessura uma outra máquina adaptada ao processo de oxicorte para corte de chapas com espessura superior.

Esse limite de 2" (50,8mm), segundo ainda o capítulo 2, provém da tecnologia empregada atualmente, uma vez que, acima dessa espessura, o corte por plasma começaria a apresentar borda circular e tende a gerar o arco duplo no bico, aumentando o desgaste dos consumíveis. Deste modo, comercialmente, neste ponto o processo de oxicorte torna-se mais barato e com qualidade superior ao plasma.

Do ponto de vista técnico, para empregar dois processos distintos dever-se-ia utilizar duas máquinas distintas, melhorando a sua produtividade e a qualidade em cada processo. Essa é a definição e princípio da metodologia da produtividade de uma máquina dedicada (rígida), ou seja, com uma máquina dedicada a determinado procedimento, a sua produção é maior e a qualidade do produto fabricado nesse processo é melhor ao de uma máquina universal.

Do ponto de vista comercial de uma pequena empresa, essa aquisição torna-se impossível, uma vez que, cada máquina desta custa em torno de R\$540.000,00 (quinhentos e quarenta mil reais), preço médio obtido através de uma consulta de mercado da empresa.

Desta maneira a empresa optou por reduzir o investimento e comprou uma máquina com os dois processos. Mesmo não se tratando de uma máquina dedicada a determinado processo, sua produtividade é razoável e a qualidade do corte é boa. Ao comprar uma máquina composta por dois processos distintos e o ano da compra anterior a 2007 (quando o preço das tecnologias importadas caíram significativamente e começaram a ser empregadas no Brasil), algumas características do processo fogem um pouco da melhor escolha atualmente:

- **A bancada é de chapa:** como a máquina possui os dois processos conjuntos, se a empresa instalasse uma bancada de água essa absorveria os resíduos durante o processo de corte a plasma, como ressalva o item 2.2.6 no capítulo 2. Porém o processo de oxicorte seria inviabilizado, uma vez que, o operador não conseguiria acender o fogo, e se conseguisse, o corte teria de péssima qualidade, podendo inclusive alterar as propriedades metalográficas do material cortado, realizando uma têmpera por consequência.

- **A tocha do plasma é refrigerada a ar:** na época da compra da máquina, as tochas refrigeradas a água possuíam elevado custo de aquisição e a redução do consumo dos consumíveis não era expressiva a ponto de compensar o alto investimento, portando a empresa optou pela compra de uma tocha refrigerada a ar.

Essa máquina CNC é uma Tectronix BT3000 fabricada no ano 2006. Possui uma tocha com fonte plasma Hypertherm Powermax 1650 alimentada somente com ar comprimido proveniente de um compressor agregado a um sistema de secagem de ar. Para esse processo de corte a máquina consegue cortar com separação de materiais segundo o manual Hypertherm (2003) até $\frac{3}{4}$ " (19,05 mm), porém a empresa não consegue utilizar a plena capacidade de corte dessa fonte de plasma, uma vez que, o projeto mecânico dessa máquina não contém elementos que garantam a total rigidez do sistema, princípio necessário para esse processo, deixando a qualidade do corte em peças com espessura superior a $\frac{1}{2}$ " (12,7 mm) com o aspecto de serrilhado.

Além da tocha de plasma, a máquina também foi equipada com duas canetas de oxicorte com bicos do tipo Harris, sendo alimentado com dois cilindros de oxigênio (um para aquecimento e outro para o jato de corte) e um cilindro com GLP (combustível para a chama). A capacidade de corte dessa máquina utilizando esse processo é de 6" (152,4 mm), devido principalmente a característica construtiva dessa máquina, pois a altura máxima que as canetas conseguem subir, viabiliza o corte até essa espessura.

A escolha do gás combustível para esse processo foi realizada baseada nas características salientadas no item 3.3 do capítulo 3: baixo custo, temperatura de chama superior à temperatura de fusão do aço carbono e baixo consumo de

oxigênio. Assim a empresa acabou optando pelo gás liquefeito de petróleo conhecido como GLP

Essa máquina possui um comprimento útil de corte de 2800 mm no eixo x enquanto no eixo y ela possui uma capacidade de corte de 8000 mm. Na figura 4.1 visualiza-se a máquina em questão, contendo as três canetas e a bancada.

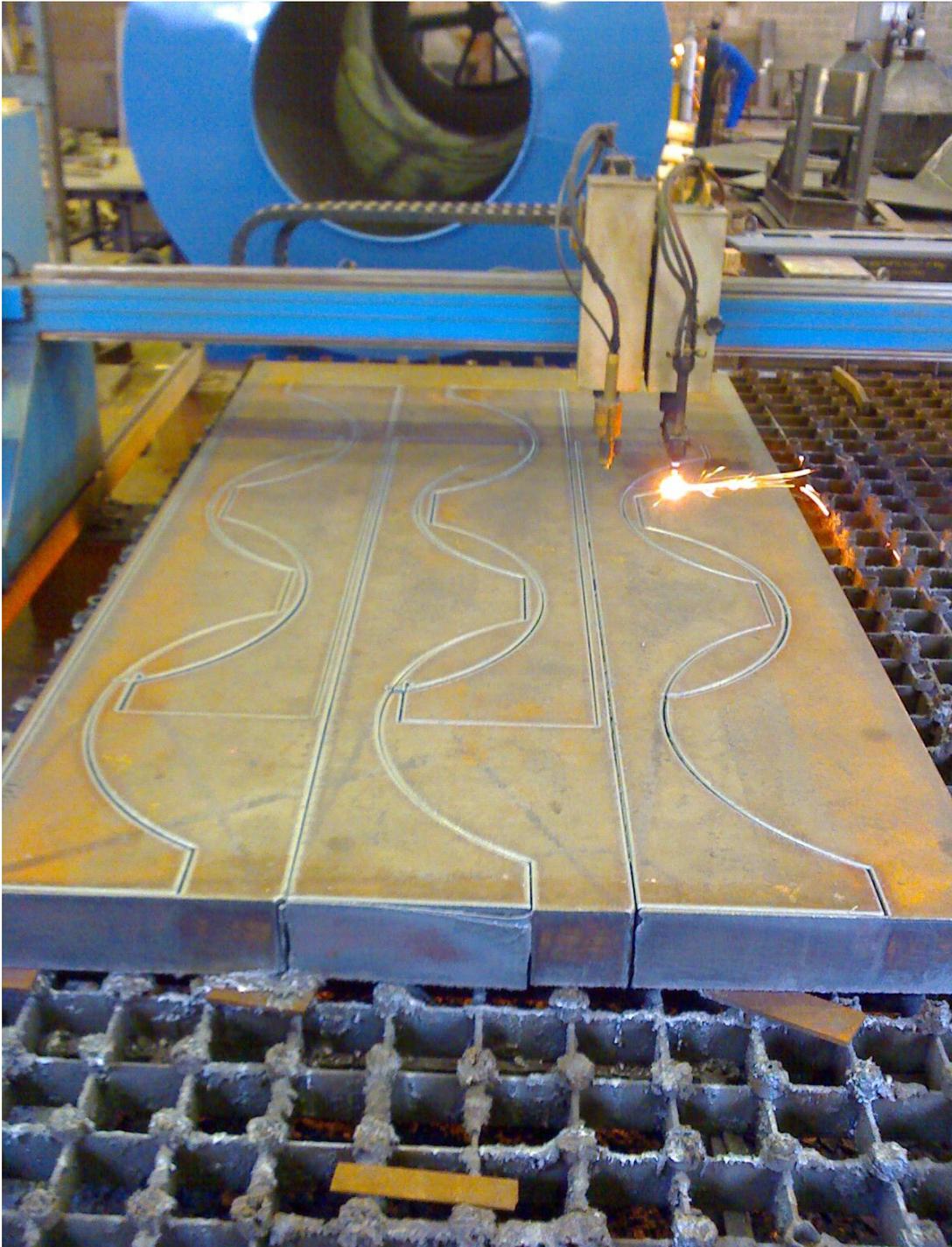


Figura 4.1.: Máquina Tectronix BT3000 instalada na empresa Esos Equipamentos Industriais Ltda.

Fonte: Foto tirada por Luís Leonardo Packer Angeli (04.03.10).

4.1. Objetivos do estudo de caso

Após a aquisição da máquina a empresa teve o leque de espessuras de corte aberto, ou seja, com a máquina a empresa conseguiu cortar diversas espessuras de chapas por possuir diferentes métodos de trabalho. Essa característica foi uma das principais razões para a escolha da máquina, porém com a essa liberdade de escolha entre os processos, espessuras intermediárias de corte ficaram a mercê da escolha quase aleatória dos primeiros operadores da máquina, portando realizou-se esse estudo de caso para encontrar a melhor maneira de processar determinada espessura.

O objetivo do estudo é realizar uma comparação entre as principais características dos processos de corte de chapas A36 através de oxicorte e plasma, tendo como base os seguintes parâmetros: deformação, tolerâncias dimensionais, velocidade de corte, largura do corte do bico e quantidade de sucata gerada. E desta forma, estabelecer o melhor procedimento de corte para determinadas circunstâncias.

Para atingir o objetivo, foram cortadas algumas chapas de mesma espessura e tamanho através dos dois processos.

4.2. Procedimentos pré-experimentais

O primeiro procedimento realizado para o início do estudo de caso, foi à escolha da espessura da chapa a estudar, optando-se pela chapa com espessura de 1/2" (12,7mm). A escolha levou em consideração alguns critérios:

- Volume de corte por espessura.
- Custo para realização do experimento.
- A dúvida do qual processo seria o melhor para o corte nessa espessura.

A espessura escolhida possuía um volume de corte mensal relativamente alto, deste modo qualquer melhora no processo resultaria em um aumento significativo dos lucros. Como a empresa utilizava um volume alto dessa espessura, ela possuía um estoque dessa chapa com um custo relativamente mais baixo que outras chapas de espessuras diferentes, viabilizando o custo do estudo. O último

aspecto da escolha foi o principal razão para a realização desse estudo, uma vez que a empresa possui dois processos de corte mecanizados, os dois podem cortar determinada espessura, porém a empresa não sabia qual seria o processo mais viável.

Após o consenso para a escolha da espessura, elaborou-se um projeto de corte com peças retangulares e peças no formato de aros. Desta maneira criou-se um parâmetro de comparação entre os dois processos, uma vez que peças retangulares (figura 4.2.) permitem visualizar as características de canto da peça e também como o corte está comportando-se ao longo do eixo x e y, ou seja, através do parâmetro do canto o operador tem a ciência do efeito da velocidade de corte. Se esta é muito alta, o canto apresenta formato levemente circular e através do parâmetro do corte reto, o operador tem a percepção da posição da caneta em relação da chapa (para um corte correto a caneta deve estar perpendicular à chapa, caso contrário, o corte da peça seria em ângulo).

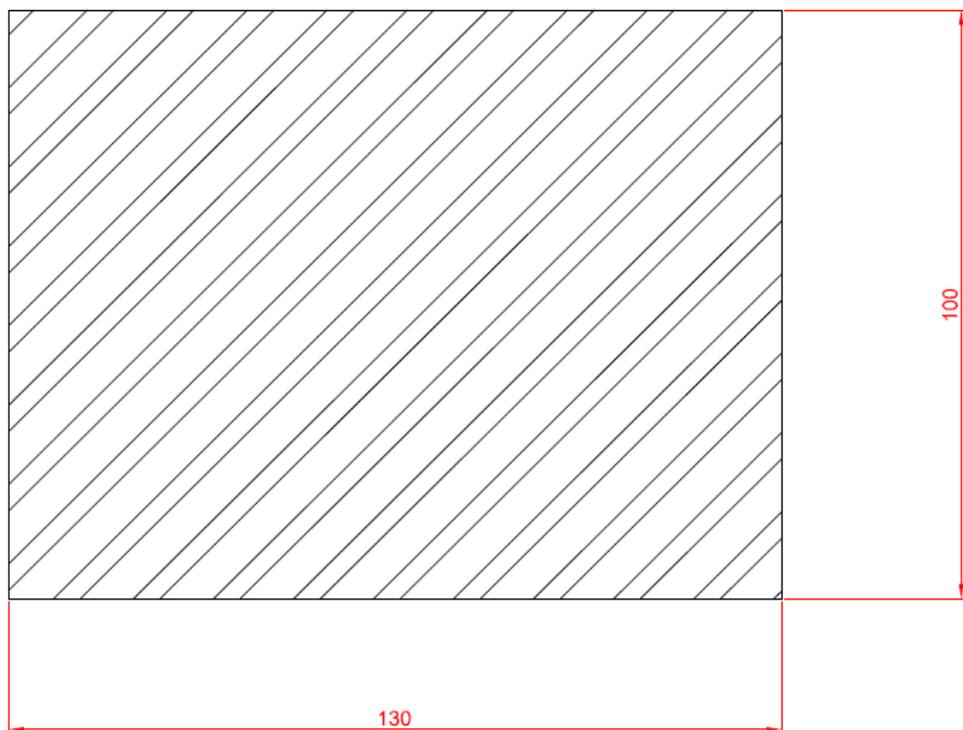


Figura 4.2.: Desenho da peça retangular para teste.

Fonte: Desenhado por Luís Leonardo Packer Angeli (10.07.11).

Já a peça no formato de aro teve a intenção de permitir a visualização de possíveis defeitos do aspecto de circularidade da peça e também se os motores de

movimentação no eixo x e no eixo y estavam com uma perfeita sincronia para assim conseguir elaborar o círculo tanto interno como externo. Na figura 4.3. visualiza-se a peça no formato de aro.

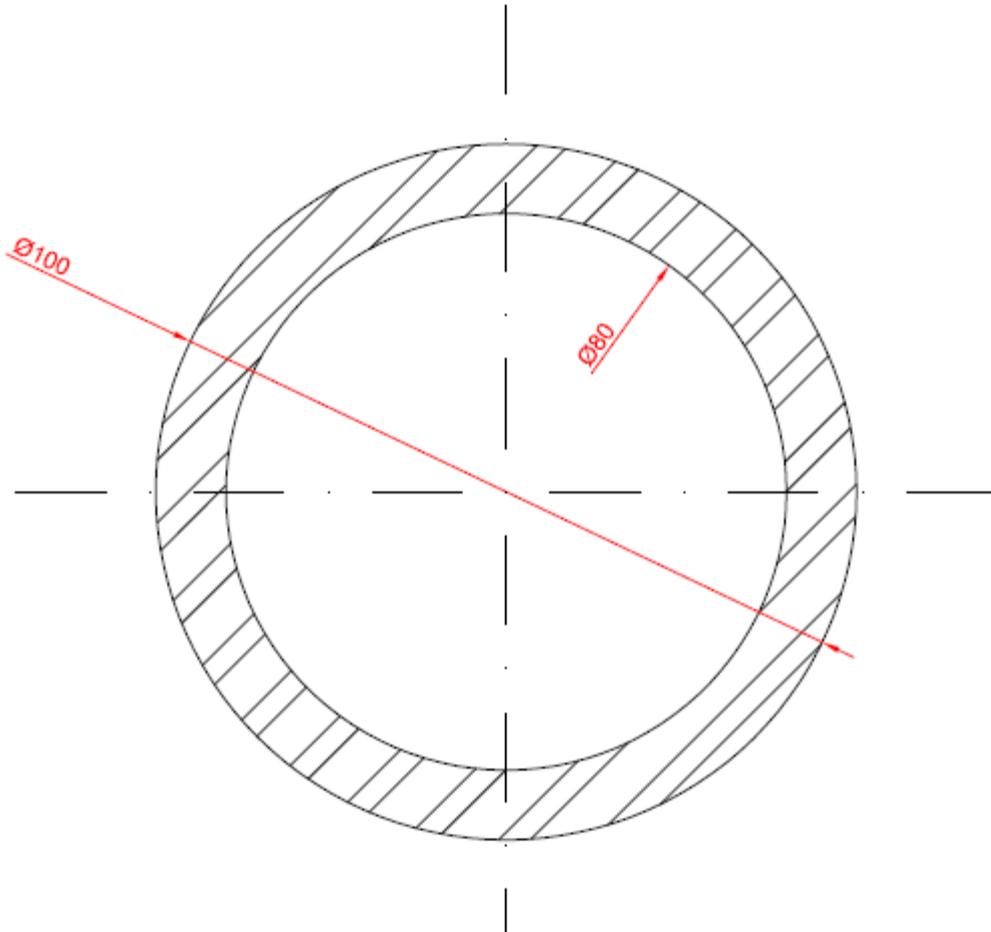


Figura 4.3.: Desenho da peça em formato de aro para teste.

Fonte: Desenhado por Luís Leonardo Packer Angeli (10.07.11).

Definido o material e as peças a cortar para o estudo de caso, elaborou-se o projeto de corte propriamente dito tanto para o processo de oxicorte como o de plasma. Os projetos para corte são na verdade elaborados em um programa, no qual o projetista indica as peças a cortar através de um desenho ou ainda através de um banco de dados de peças, contido no próprio programa. Para peças de características simples como quadrados e círculos, o programa tem gravado através de alguns macros o desenho, permitindo ao projetista adicionar somente as medidas.

Escolhidas as peças a cortar, define-se para o programa a espessura do material a cortar e com essa informação o programa consegue vincular com as características do corte pré-determinadas no banco de dados:

- **Entrada e saída de corte:** para cada faixa de espessura existe um determinado comprimento de entrada e saída do corte. Esse aspecto deve ser levando em consideração, tendo em vista que se a entrada for muito pequena (no limite da peça) jato inicial de corte afeta a peça deixando-a com um buraco no local, uma vez que, para começar o corte este jato realiza um furo na chapa. Já a saída se for menor que o mínimo, a peça fica presa na grade da chapa dificultando a sua remoção.

- **A espessura da grade:** essa característica tem suma importância durante o corte da peça, uma vez que é a grade o agente de resistência à dilatação da peça, mantendo a peça presa durante o processo para a realização do corte dentro das dimensões desejadas, ou seja, ao programar um projeto com uma grade pequena podendo romper, deixando a peça solta ao longo do corte. Esse aspecto somado a dilatação térmica da peça, essa última movimenta-se, fazendo com que no final do corte torne-se um retângulo com problemas de esquadro, por exemplo.

- **Velocidade de corte:** apesar do operador da máquina possuir total liberdade para alterar a velocidade do corte durante a operação de corte, essa variável inicialmente é definida pelo programa fazendo com que, antes do início da operação de corte o projetista consiga visualizar o tempo de corte para cada projeto e assim planejar com maior exatidão as prioridades de corte.

- **Sentido de corte e ordem de corte:** de acordo com o posicionamento das peças na chapa, o programa cria inicialmente uma ordem de corte para diminuir o tempo de posicionamento da máquina e assim diminuir o tempo de corte para determinado projeto. Além desse aspecto o sentido de corte tem de ser bem planejado, uma vez que, segundo uma característica do processo plasma ressaltada no capítulo 2, menciona a necessidade que o corte interno da peça seja realizado no sentido anti-horário e o externo no sentido horário, pois deste modo o lado chanfrado é direcionado para a sucata e não para a peça.

O corte a plasma analisado perante as características abordadas pelo programa apresentou inicialmente algumas vantagens perante o processo de

oxicorte, uma vez que por tratar-se de um processo elétrico não necessita aquecer demasiadamente a chapa para conseguir fundi-la, possuindo, deste modo, uma entrada e saída de corte significativamente menor se comparada ao oxicorte, tornando a grade do plasma menor e economizando matéria prima. Além desse aspecto, da economia de matéria prima, temos ainda a economia de tempo, uma vez que, como salientado no capítulo 2, o plasma possui a característica de um corte mais rápido que oxicorte ao mesmo tempo apresenta um acabamento melhor.

Na figura 4.4 estão os projetos de corte realizados para esse estudo de caso, nota-se que a chapa utilizada para cada processo possui tamanhos diferentes de utilização.

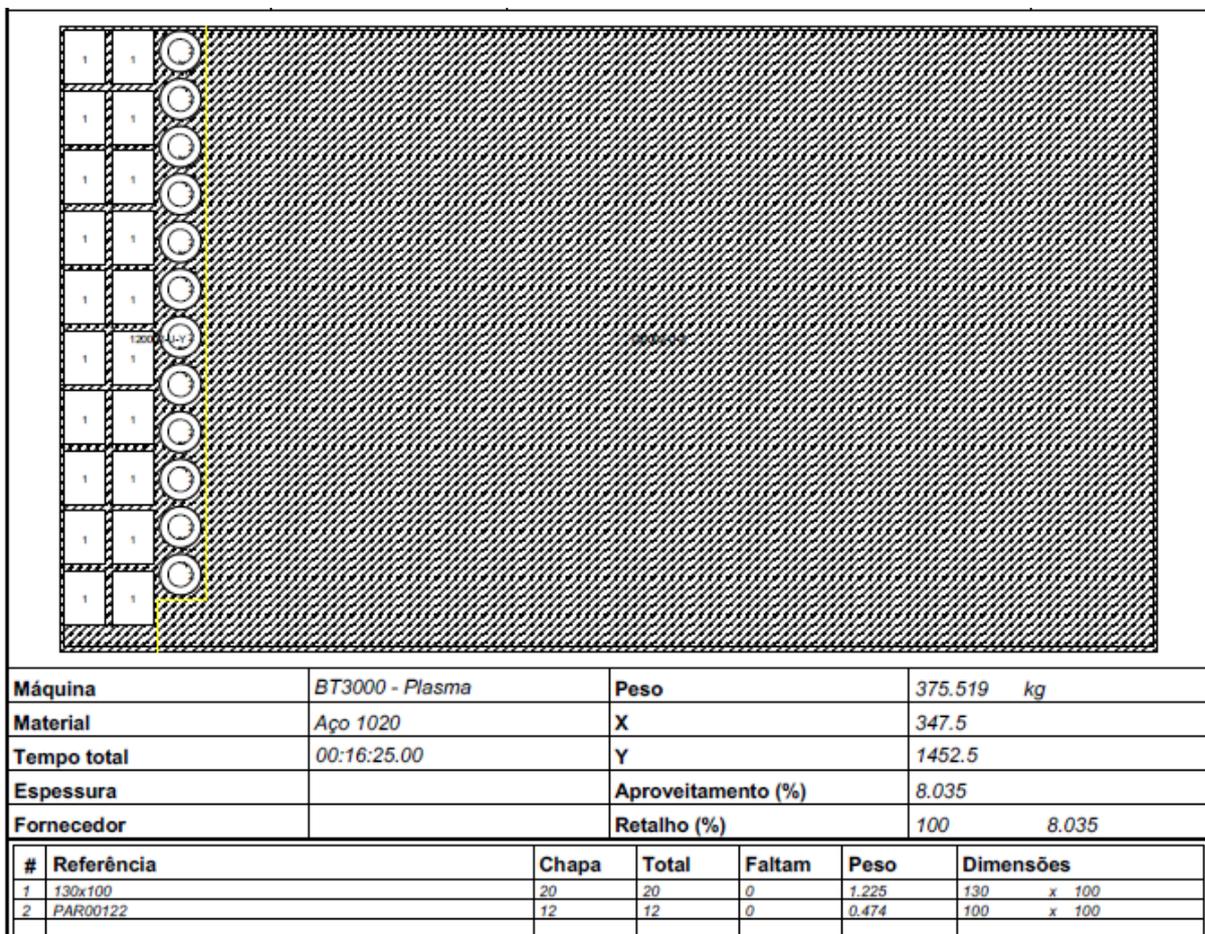
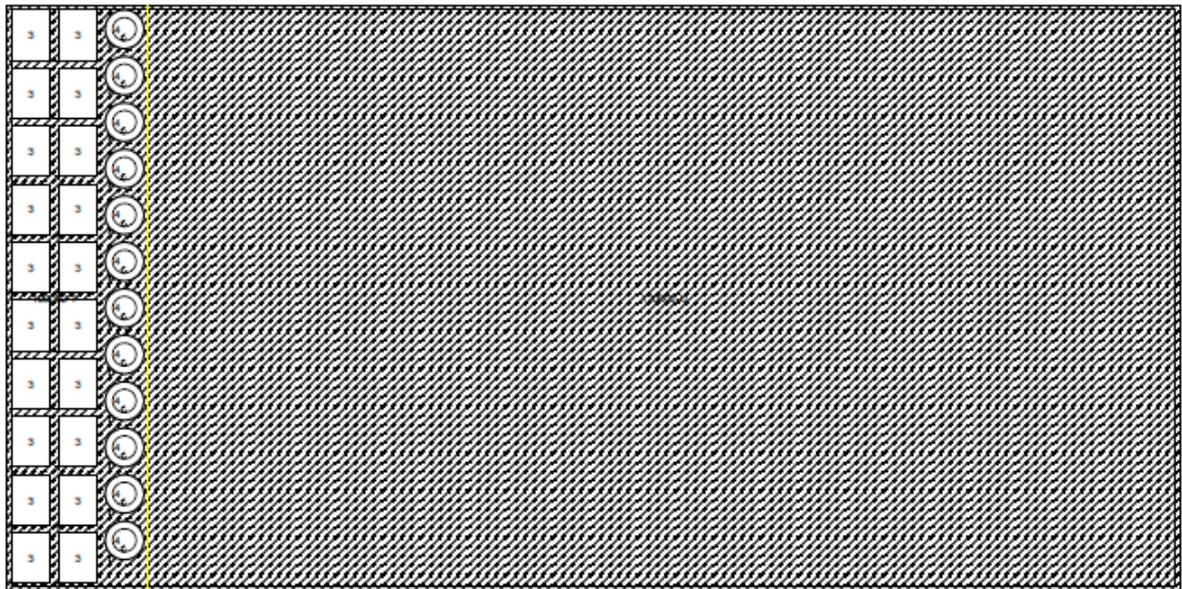


Figura 4.4.A: Projeto de corte por plasma.

Fonte: Projetado por Luís Leonardo Packer Angeli (10.07.11).



Máquina	BT3000 - Oxicorte	Peso	426.726 kg			
Material	Aço 1020	X	360			
Tempo total	01:18:59.48	Y	1500			
Espessura		Aproveitamento (%)	7.071			
Fornecedor		Retalho (%)	100 7.071			
#	Referência	Chapa	Total	Faltam	Peso	Dimensões
3	130x100	20	21	1	1.225	130 x 100
4	PAR00122	12	21	9	0.474	100 x 100

Figura 4.4.B: Projeto de corte por oxicorte.

Fonte: Projetado por Luís Leonardo Packer Angeli (10.07.11).

4.3. Procedimento de corte

Após o término do projeto teve início o procedimento de corte do estudo de caso. Realizou-se os dois procedimentos, em uma mesma chapa, a fim de garantir as mesmas condições de alinhamento e de material para ambos os cortes.

O primeiro procedimento para a realização do processo de corte foi o posicionamento da chapa na bancada de corte, com posterior alinhamento da chapa com o trilho da máquina. O corte é realizado conforme o trilho da máquina, logo com esse procedimento, o processo garante que a grade deixada lateralmente no projeto seja suficiente para o corte, uma vez que, se a chapa estiver fora de alinhamento lateral, acaba ocorrendo que as peças laterais não caibam na chapa e o pedaço seja perdido. Após o alinhamento lateral a chapa foi nivelada conforme as canetas de corte, garantindo a sua perpendicularidade com a chapa, para evitar cortes

chanfrados. Ao realizar esses procedimentos, aumenta-se a qualidade do corte significativamente.

4.3.1. Procedimento de corte a plasma

Para a execução do estudo de caso, optou-se para a realização o processo de plasma inicialmente, uma vez que por tratar-se de um processo menos agressivo a chapa (a deformação segundo o capítulo 2 é menor se comparada com o oxicorte). A figura 4.5 apresenta uma foto do procedimento realizado por plasma.



Figura 4.5.: Processo de corte por plasma.

Fonte: Foto tirada por Luís Leonardo Packer Angeli (25.07.11).

Depois de realizar-se o corte à plasma, retirou-se as peças cortadas e a grade para estudo, as quais foram pesadas e medidas. Essa coleta de dados e os resultados obtidos, através do experimento, encontram-se no quadro 4.1.

Dados do processo				
Tempo de aquecimento(s)	1			
Tempo de perfuração(s)	1			
Velocidade (mm/min)	800			
Pressões de trabalho				
Amperagem (A)	100			
Pressão do ar comprimido (bar)	8,16			
Consumo de consumíveis				
		Valores Unitários (R\$)		Valores totais (R\$)
Potência consumida (kw)	30			
Energia elétrica (kwh)	11,38	R\$	0,28	R\$ 3,23
Número de bico utilizado (220064)	1	R\$	11,50	R\$ 11,50
Número de eletrodo utilizado (220037)	1	R\$	11,50	R\$ 11,50
Peças				
		Valores Unitários (R\$)		Valores totais (R\$)
Número de peças retangulares	20			
Tempo de corte peça retangular(s)	36			
Tempo de corte total retangular(s)	720			
Peso unitário da peça retangular (kg)	1,4			
Peso total das peças retangulares (kg)	28			
Número de peças circulares	12			
Tempo de corte peça circular(s)	42			
Tempo de corte total circular(s)	504			
Peso unitário da peça circular (kg)	0,6			
Peso do miolo unitário (kg)	0,2			
Peso do miolo total (kg)	2,4			
Peso total das peças circulares (kg)	7,2			
Peso da chapa (kg)	50,47	R\$	3,20	R\$ 161,52
Peso total das peças (kg)	35,2	R\$	3,20	R\$ 112,64
Peso da grade (kg)	12,6			
Peso total da sucata (kg)	15	R\$	0,50	R\$ 7,50
Peso da borra (kg)	0,274	R\$	0,15	R\$ 0,04
Operação				
		Valores Unitários (R\$)		Valores totais (R\$)
Tempo total de corte do projeto(s)	1366			
Custo operador + encargos trabalhistas (R\$/h)		R\$	45,36	
Total				R\$ 17,21
Total de despesas (R\$)				R\$ 99,86

Quadro 4.1.: Dados obtidos através do processo de plasma.

Fonte: Elaborado por Luís Leonardo Packer Angeli (27.07.11).

4.3.2. Procedimento de corte por oxicorte

Seguindo o cronograma de experimentos, realizou-se o corte pelo processo de oxicorte, tomando o cuidado de seguir todas as recomendações indicadas anteriormente. Tratando-se de um processo mais manual de trabalho, esse processo apresentou alguns cuidados a mais para o operador durante o corte.

- **O início da operação de corte:** esse processo necessita de um cuidado do operador durante o tempo de aquecimento da chapa, pois se o operador da máquina deixa a chama muito tempo concentrada em um foco, o material funde-se, criando a poça de fusão, que quando deixada por um longo tempo, essa cria uma entrada de corte muito maior que a necessária e calculada anteriormente, podendo causar defeito na peça. Outro ponto negativo de aquecimento é a durabilidade do bico, pois esse pode não suportar diversos aquecimentos demasiados consecutivos, entortando e comprometendo a qualidade dos próximos cortes.

- **Retirada de parte da escória da entrada de corte:** após o início do corte forma-se um aglomerado de escória na parte de cima da chapa, onde inicia-se o corte, esse fenômeno é causado pelo jato de corte que, através da pressão, espirra o material fundido para o alto a fim de abrir caminho para o corte, porém quando a chama de corte está terminando a peça, essa é obrigada a passar em cima da escória. Esse acontecimento deve evitar-se ao máximo, uma vez que quando acontece, o foco do calor da chama é desviado pela escória, fazendo com que a chama não tenha energia suficiente para continuar cortando, forçando o operador a retroceder àquele ponto crítico e esperar novamente a formação da poça de fusão.

Ao terminar esse processo de corte, foram novamente coletados os dados e retirou-se as peças. Na figura 4.6 mostra-se a foto da execução do corte por oxicorte.



Figura 4.6.: Processo de corte por oxicorte.

Fonte: Foto tirada por Luís Leonardo Packer Angeli (25.07.11).

A coleta de dados no processo de oxicorte referente ao consumo de oxigênio e GLP realizou-se da seguinte forma:

- Antes de o experimento começar foi mensurado o valor da pressão inicial contida de gás em cada cilindro. Essa medida realizou-se através de um manômetro acoplado ao cilindro, sendo que cada manômetro possui dois medidores de pressão. Um dos relógios informa a pressão de trabalho e o outro a pressão interna no cilindro, ou seja esse último demonstra a pressão que o gás contido no cilindro provoca contra as paredes do recipiente do cilindro, servindo deste modo como um comparativo do quando o cilindro possui de gás.
- Após o término do experimento mensurou-se novamente a pressão interna do cilindro.
- Com a pressão inicial e a final de cada cilindro, obtêm-se o gasto de gás quantificado em pressão.

Após a coleta dos dados quantitativos do consumo de gases, através da unidade de pressão em bar, criou-se a necessidade de modificar a unidade em m^3 , pois a compra desses consumíveis é mensurada em volume e não em pressão.

Para calcular esse consumo, utilizou-se a equação química de gás ideal, também conhecida como equação de Clapeyron. Essa equação encontra-se em 4.1:

$$P * V = n * R * T \quad (4.1)$$

Onde:

- **P:** é a pressão do gás no cilindro.
- **V:** é o volume do cilindro.
- **n:** é o número de mols.
- **R:** é a constante universal dos gases.
- **T:** é a temperatura do gás no interior do cilindro.

Pode-se aplicar essa equação para a condição inicial e final do gás no cilindro (antes e depois da realização do experimento). Considera-se esse processo sendo isotérmico, uma vez que a temperatura é constante ao longo do experimento e também é constante a constante universal dos gases (R). Tem-se então isolando essas duas variáveis a equação 4.2.

$$R * T = \frac{P * V}{n} \quad (4.2)$$

Observa-se que o processo inicial e o final podem ser igualados a fim de obter-se a variável desejada, ou seja, ao igualar-se as duas equações pode-se encontrar o número de mols da situação final. Outra consideração importante a mencionar-se, é o fato de o cilindro ser o mesmo no início e no final do experimento, o que torna a variável V constante nas duas equações simplificando-as. Desta maneira encontra-se a equação 4.3.

$$\frac{P_{inicial} * V}{n_{inicial}} = \frac{P_{final} * V}{n_{final}} \rightarrow \frac{P_{inicial}}{n_{inicial}} = \frac{P_{final}}{n_{final}} \quad (4.3)$$

Sabe-se que a fórmula do número de mols pode ser escrita conforme a equação 4.4.

$$n = \frac{m}{M} \quad (4.4)$$

Onde:

- **n:** é o número de mols.
- **m:** é a massa do gás.
- **M:** é a massa molar do gás.

Substituindo-se a variável número de mols (n) da equação 4.4. na equação 4.3 e simplificando-se a massa molar inicial e final, tendo em vista, que trata-se do mesmo gás, obtém-se a equação 4.5.

$$\frac{P_{inicial}}{\frac{m_{inicial}}{M}} = \frac{P_{final}}{\frac{m_{final}}{M}} \rightarrow \frac{P_{inicial}}{m_{inicial}} = \frac{P_{final}}{m_{final}} \quad (4.5)$$

Após encontrar-se a equação e mensura-se a massa do gás no início do processo pesando o cilindro cheio e subtraindo o peso da sua tara (valor do peso do cilindro vazio encontrado gravado no seu corpo). Desta maneira tendo o valor da pressão e massa inicial do gás e conhecendo a diferença de pressão consumida durante o processo de corte, pode-se encontrar a massa consumida.

Uma vez encontrada a massa consumida de gás, cria-se uma nova equação substituindo a variável número de mols (n) da equação 4.4. na equação 4.1 e isolando a variável desejada (V), encontra-se a equação 4.6.

$$P * V = \frac{m}{M} * R * T \rightarrow V = \frac{m * R * T}{M * P} \quad (4.6)$$

Onde:

- **m:** é a massa do gás (gramas).

- **R:** é a constante universal dos gases ($0,082 \frac{atm \cdot L}{mol \cdot K}$).
- **T:** é a temperatura do gás no interior do cilindro (adotado 27°C ou 300K).
- **M:** é a massa molar do gás (gramas).
- **P:** é a diferença de pressão do gás no cilindro (atm).
- **V:** é o volume do cilindro (m^3).

Tomado os dados e calculado o gasto de gases durante o processo, montou-se o quadro 4.2.

Dados do processo			
Tempo de aquecimento(s)	15		
Tempo de perfuração(s)	1		
Velocidade (mm/min)	400		
Pressões de trabalho			
Oxigênio de aquecimento baixo (bar)	1,8		
Oxigênio de aquecimento alto (bar)	3,7		
Jato de corte (bar)	3,5		
GLP	3		
Consumo de consumíveis			
		Valores Unitários (R\$)	Valores totais (R\$)
Pressão inicial no cilindro do Oxigênio de aquecimento (kgf)	200		
Pressão final no cilindro do Oxigênio de aquecimento (kgf)	160		
Massa inicial do cilindro do Oxigênio de aquecimento (kg)	8,7		
Massa consumida de Oxigênio de aquecimento (kg)	1,74		
Volume gasto de Oxigênio de aquecimento (m^3)	0,035	R\$ 30,00	R\$ 1,04
Pressão inicial no cilindro do Oxigênio de corte (kgf)	150		
Pressão final no cilindro do Oxigênio de corte (kgf)	110		
Massa inicial do cilindro do Oxigênio de corte (kg)	6,5		
Massa consumida de Oxigênio de corte (kg)	1,733		
Volume gasto de Oxigênio de corte (m^3)	0,034	R\$ 30,00	R\$ 1,03
Pressão inicial no cilindro de GLP (kgf)	100		
Pressão final no cilindro de GLP (kgf)	98,5		
Massa inicial do cilindro de GLP (kg)	45		
Massa consumida de GLP (kg)	0,675		
Volume gasto de GLP (m^3)	0,112	R\$ 25,00	R\$ 2,80
Número de bicos utilizados (0VVC)	1	R\$ 24,90	R\$ 24,90

Quadro 4.2.: Dados obtidos através do processo de oxicorte.

Fonte: Elaborado por Luís Leonardo Packer Angeli (27.07.11).

Peças		Valores Unitários (R\$)		Valores totais (R\$)
Número de peças retangulares	20			
Tempo de corte peça retangular(s)	70			
Tempo de corte total retangular(s)	1400			
Peso unitário da peça retangular (kg)	1,4			
Peso total das peças retangulares (kg)	28			
Número de peças circulares	12			
Tempo de corte peça circular(s)	85			
Tempo de corte total circular(s)	1020			
Peso unitário da peça circular (kg)	0,6			
Peso do miolo unitário (kg)	0,2			
Peso do miolo total (kg)	2,4			
Peso total das peças circulares (kg)	7,2			
Peso da chapa (kg)	54	R\$	3,20	R\$ 172,80
Peso total das peças (kg)	35,2	R\$	3,20	R\$ 112,64
Peso da grade (kg)	12			
Peso total da sucata (kg)	14,4	R\$	0,50	R\$ 7,20
Peso da borra (kg)	4,4	R\$	0,15	R\$ 0,66
Operação				
		Valores Unitários (R\$)		Valores totais (R\$)
Tempo total de corte do projeto(s)	3430			
Custo operador + encargos trabalhistas (R\$/h)		R\$	45,36	
Total				R\$ 43,22
Total de despesas (R\$)				R\$ 125,29

Quadro 4.2.: Dados obtidos através do processo de oxicorte (continuação).

4.4. Análise dos resultados obtidos

Visualizando os quadros dos dados, percebe-se que ocorreu como o capítulo 3 explica, o plasma (para a espessura em análise: 1/2"; sob as condições pré determinadas e com a máquina da empresa) apresenta uma considerável vantagem perante o oxicorte. Essas vantagens resumem-se em:

- A velocidade de corte é o dobro em consideração ao oxicorte como enfoca o item 2.2.10 do capítulo 2.
- O nível de deformação das peças cortadas através do processo plasma é cerca de 20%. As peças em questão apresentaram uma deformação pequena no

empenamento (essa deformação foi da ordem de 0,2mm) em quanto as peças oxicortadas apresentaram uma deformação de 1mm.

- As peças oxicortadas apresentaram uma camada de escória cuja remoção é um ponto de dificuldade aumentando a etapa de rebarbação no sistema produtivo, característica intrínseca ao processo mencionada no item 3.6 do capítulo 3, já nas peças cortadas por plasma a incidência dessa escória foi baixa e de fácil remoção.

- O custo de aquisição e manutenção mensal do processo de oxicorte é baixo como aborda o capítulo 3, porém esse custo torna-se alto quando a sua análise considera o fator manuseio e operação tornando-se mais alto que o do plasma, uma vez que para manter o processo de oxicorte ativo, deve-se manusear cilindros de gases, mangueiras, dentre outras variáveis do processo que dificultam a sua operação. Já o processo plasma, uma vez adquirido e instalado não apresenta dificuldades em manutenção e alimentação.

- Custo do processo. O plasma como demonstrado nos quadros 4.1 e 4.2 apresenta um custo operacional 20,30% menor do que o oxicorte.

Quanto ao último item considerou-se somente o custo do processo, ou seja para obter-se o custo de cada processo, considerou-se o valor dos consumíveis utilizados somados ao valor do custo da chapa.

Esse custo da chapa calculou-se levando em conta que o valor das peças não é um custo para o processo e sim um bem, assim como o valor as sucata e da borra que a empresa pode recuperar. Ao ser subtraído os bens recuperáveis do custo da chapa a ser cortada, obteve-se o custo real da matéria prima durante o processo. Somando-se a esse custo o custo do consumíveis, obtêm-se o custo do real do processo.

6. Conclusão

Nesse trabalho procurou-se analisar o processo de corte de chapas através do método de corte a plasma e também através do oxicorte analisando algumas características desses métodos e as comparando, a fim de obter uma melhoria da qualidade e do custo de produção dos equipamentos produzidos pela empresa.

Assim como diversas empresas no ramo de metalurgia, a empresa, onde se realizou o estudo em questão, possui uma máquina com os dois processos citados: oxicorte e plasma. A empresa possuía a dúvida de qual processo apresentaria resultados mais eficientes para o corte de uma chapa de $\frac{1}{2}$ "(12,7mm) para diminuição do custo de operação, porém sem a perda da qualidade, tendo em vista que através desse processo a qualidade da montagem e soldagem seria afetada diretamente.

Ao realizar o estudo concluiu-se que o processo de plasma (esse resultado era esperado seguindo as explicações do capítulo 2) representa o melhor método para chapas finas, pois de acordo com os resultados, esse procedimento apresentou uma velocidade de corte 2 vezes maior que o oxicorte, diminuindo o tempo de corte em torno de 60%. Mesmo apresentando uma velocidade maior, o plasma conseguiu um acabamento superficial muito superior ao do oxicorte, diminuindo o tempo e os gastos com rebarbação em 70%.

O oxicorte possui um custo de aquisição e uma faixa de corte mais extensa que o plasma como demonstrado no capítulo 3, e também apresenta um custo indireto mais alto que o plasma como demonstrado através dos itens 2.3 do capítulo 2 e o item 3.2 do capítulo 3. O custo direto também é 20,30% maior como apresentado através dos quadros 4.1 e 4.2 do capítulo 4.

O foco do estudo de caso nesse trabalho foi à comparação das vantagens entre um processo e outro, porém como o tempo para a realização do mesmo é curto, não foi apresentado um estudo detalhado das influências da temperatura no processo como um todo, uma vez que ao aquecer qualquer material, este dilata, podendo afetar as dimensões do corte. Esse estudo seria interessante para melhorar ainda mais o processo, pois se a chapa a cortar estiver bem presa e a dilatação das peças for conhecida e prevista coerentemente, a velocidade do corte

poderá ser aumentada, as peças apresentarão dimensão desejada e a qualidade superficial do corte será alta.

Outra sugestão para estudos futuros é a comparação entre o procedimento de corte entre duas máquinas distintas adaptadas para cada processo, uma vez que em uma máquina tida como rígida, os parâmetros são melhores definidos e assim a velocidade e a qualidade do processo aumentam podendo deixar o processo de oxicorte mais competitivo com o de plasma.

4. Bibliografia

LIMA, Erasmo. **Corte a plasma**. Revista da soldagem ABS. Editora Associação Brasileira de Soldagem. 2006. Ano 2 número 9. Páginas 18 a 26.

Hypertherm. **Manual de operação 804487** revisão1 Hypertherm, 2003, capítulo 2. Disponível somente com o fabricante.

Portal Metálica. **O processo de corte de metais por plasma**. 2011. Disponível em: <<http://www.metlica.com.br/o-processo-de-corte-de-metais-por-plasma>>. Acesso em 14 de maio de 2011.

JOAQUIM, Roberto e RAMALHO, José. **Plasma**. Revista Infosolda. São Paulo. 1996. Disponível em: <http://www.infosolda.com.br/new_site/getFile.php?t=d&i=109>. Acesso em 14 de maio de 2011.

RAMALHO, José. **Processo oxicorte**. 2010. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/33526585/Processo-Oxicorte>>. Acesso em 14 de maio de 2011.

Telecurso 2000. **Oxicorte**. Processo de fabricação. Aula 63. 2009. Disponível em: <www.essel.com.br/cursos/material/01/ProcessosFabricacao/63proc>. Acesso em 14 de maio de 2011.

Oxyser. **Foto plasma com mufla e banca com água**. Catálogo Máquina de corte por plasma modelo Delta. 2010. Disponível na forma de catálogo impresso adquirido com o fabricante.

White Martins. **Foto tartaruga para cortes retos**. Catálogo Máquina de Corte MC-46. 2011. Disponível na forma de catálogo impresso adquirido com o fabricante.

Autor Desconhecido. **Figura Estados conhecidos da matéria.** Disponível em:<www.algosobre.com.br/images/stories/fisica/quintoestado.gif>. Acesso em 14 de maio de 2011.

JUNIOR, Gelson Marino Zamai. **Viabilidade dos processos de oxicorte e corte a plasma.** 2009. 85f. Dissertação (bacharelado em Engenharia Mecânica)- Escola de Engenharia de Piracicaba, 2009.

AGOSTINI, Marco Henrique. **Processos de corte industriais.** 2006. 126f. Dissertação (bacharelado em Engenharia Mecânica)- Escola de Engenharia de Piracicaba, 2006.