

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
JOSÉ ARIMATEIA DE OLIVEIRA JUNIOR
RAFAEL FONTANA DE SIQUEIRA**

**SOLDAGEM DE ALTA DUREZA, PARA
REVESTIMENTO E RECUPERAÇÃO DE ELEMENTO
DE MOAGEM**

**Taubaté - SP
2018**

**JOSÉ ARIMATEIA DE OLIVEIRA JUNIOR
RAFAEL FONTANA DE SIQUEIRA**

**SOLDAGEM DE ALTA DUREZA, PARA
REVESTIMENTO E RECUPERAÇÃO DE ELEMENTO
DE MOAGEM**

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Certificado de Graduação do
curso de Engenharia Mecânica do
Departamento de Engenharia Mecânica da
Universidade de Taubaté.

Orientador(a): Prof. Msc. José Carlos
Sávio de Souza

**Taubaté – SP
2018**

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

S618s Siqueira, Rafael Fontana de
 Soldagem de alta dureza, para revestimento e recuperação de
 elementos de moagem / Rafael Fontana de Siqueira; José Arimateia De
 Oliveira Junior. -- 2018.
 58 f. : il.

 Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de
 Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.
 Orientação: Prof. José Carlos Sávio de Souza, Departamento de
 Engenharia Mecânica.

 1. Revestimento. 2. Rolo de moagem. 3. Soldagem. I. Título.
 II. Oliveira Junior, José Arimateia de. III. Graduação em Engenharia
 Mecânica.

CDD – 671.52

Ficha catalográfica elaborada por Shirlei Righeti – CRB-8/6995

**JOSÉ ARIMATÉIA DE OLIVEIRA JUNIOR
RAFAEL FONTANA DE SIQUEIRA**

**SOLDAGEM DE ALTA DUREZA, PARA REVESTIMENTO E
RECUPERAÇÃO DE ELEMENTO DE MOAGEM**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO APROVADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE GRADUADO EM
ENGENHARIA MECANICA

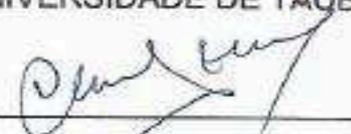
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE
GRADUAÇÃO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Msc. Fabio Henrique Fonseca Santejani
Coordenador de Trabalho de Graduação

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Msc. José Carlos Sávio de Souza
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ



Prof. Msc. Carlos Evany Pinto
UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

28/11/2018

Dedico este trabalho a nossos familiares, que ficaram do nosso
lado durante essa trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus que nos deu saúde e coragem para que pudéssemos alcançar o objetivo de nos tornarmos Engenheiros Mecânico.

Agradecemos aos nossos familiares que desde a criação nos moldaram ética e moralmente até os dias de hoje e que tem contribuição direta neste objetivo.

À empresa Maxweld que nos cederam dados e informações sobre o processo utilizado como estudo.

E a todo corpo docente da Unitau, principalmente nosso orientador José Sávio.

.

RESUMO

A soldagem se coloca em um lugar de destaque na indústria, tanto pela sua capacidade de se aumentar a produção de setores fabris, com união de peças que não seriam capazes com outros processos, mas também pela sua praticidade de se solucionar problemas.

E com a soldagem de revestimento não é diferente, onde com a aplicação de elementos de alta dureza sobre o material de base se torna possível aumentar a vida útil de equipamentos e aumentar sua gama de aplicações. Uma vez que para se realizar a troca de rolos moagem danificados se gastariam muito tempo e dinheiro, o revestimento dos mesmos pelo processo de metalização se torna uma alternativa mais viável financeiramente e que em poucos dias de realização da soldagem o equipamento se encontrará nos perfis de novos, podendo assim se manter com a taxa de moagem e produtividade restabelecida.

Os estudos de comparação de dureza atestam as diferenças de aços comerciais muito utilizados com os aços após a aplicação do revestimento de alta dureza.

Palavras-chave: Soldagem. Revestimento. Rolos de Moagem.

ABSTRACT

Welding places itself in a prominent place in the industry, both for its ability to increase the production of panels of production, as with the layoffs of other processes, but also for its practicality of solving problems.

And with the soldering of a coating is no different, where with an application of elements of high hardness on the base material becomes the possibility to increase the life of equipment and increase its range of applications. Since to make a currency exchange, salaries are much more massive and more money, the coating of metallization processes becomes a more viable alternative, and, in some days, the realization of welding is more advantageous in our profiles. new ones, thus being maintained with a rate of milling and productivity restored.

Hardness comparison studies attest to differences in commercial steels that are widely used with the application of a high hardness coating.

KEYWORDS: Welding. Coating. Grinding Rollers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Britador de rolo dentado	19
Figura 2 – Britador de rolos lisos	19
Figura 3 – Tipo de moinho cilíndrico	20
Figura 5 – Moinho de rolos de alta pressão	22
Figura 6 – Vedação do rolo.....	23
Figura 7 - Revestimento rígido.....	25
Figura 8 – Ilustração de preenchimento com material de adição.....	28
Figura 9 – Processo de soldagem com eletrodo revestido	29
Figura 10 – Processo de soldagem MIG/MAG	30
Figura 11 – Soldagem com arames tubulares	32
Figura 12 – Processo de fabricação do arame tubular	33
Figura 13 – Gráfico Tensão X Deformação	34
Figura 14 - Calandragem	35
Figura 15 – Processo de corte plasma	37
Figura 16 – Instalações para soldagem manual	39
Figura 17 – Tocha MIG/MAG.....	40
Figura 18 – Fonte de soldagem	45
Figura 19 – Painel de alimentação sobre o painel de movimentação	46
Figura 20 - Alimentador de arame e carro de manipulação. (Próprio autor) ...	47
Figura 21 – Dimensões da chapa	48
Figura 22 - Chapas após corte à plasma	49
Figura 23 - Conformação e caldeiraria (revestimento pintado de azul).....	50
Figura 24 – Mesa posicionadora com rolo de moagem montado	51
Figura 25 – Soldagem do rolo de moagem.....	52
Figura 26 - Rolo finalizado	53

Figura 27 - Escala de dureza rockell e aplicações.....	55
Figura 28 – Durômetro de bancada Rockwell.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição Química Exigida.....	44
Tabela 2 - Parâmetros de soldagem.....	48
Tabela 3 – Material base e revestimento	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
AT	Arame Tubular
AWS	American Welding Society
B	Boro
C	Carbono
CA	Corrente alternada
CC	Corrente contínua
Cr	Cromo
ER	Eletrodo Revestido
FCAW	Flux Cored Arc Welding
GMAW	Gás Metal Arc Welding.
MIG/MAG	Metal Inert Gas/Metal Active Gas
Mn	Manganês
P	Fósforo
S	Enxofre
SAE	Society of Automotive Engineers
Si	Silício
Zr	Zircônio

LISTA DE SÍMBOLOS

∅	Diámetro
A	Amperes
V	Volts

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 Máquina de moagem	18
2.1.1 Princípios de britagem	18
2.1.1.1 Britadores de rolos.....	18
2.1.2 Princípios de moagem	19
2.1.2.1 Moinho cilíndricos	20
2.1.2.1.1 Princípio operacional de moinhos cilíndricos	21
2.1.2.2 Moinhos de rolos.....	21
2.1.2.3 Rolos de moagem vertical	22
2.1.2.4 Mesa de moagem do moinho vertical de rolos	24
2.2 Quais os principais desgastes	25
2.2.1 Abrasão	25
2.2.1.1 Desgaste por abrasão em baixa tensão	26
2.2.1.2 Desgaste por abrasão com altas	26
2.2.2 Desgaste por adesão ou fricção	26
2.2.3 Desgaste por fadiga superficial.....	27
2.3 Soldagem.....	27
2.3.1 Material de adição.....	27
2.3.2 Soldagem elétrica a arco voltaico	28
2.3.1.1 Soldagem com eletrodo revestido – SWAW (shield metal arc welding)	29
2.3.1.2 Soldagem MIG/MAG GMAW (gas metal arc welding)	29
2.3.1.3 Soldagem de arco submerso	30
2.3.1.4 Soldagem com arame tubular – FCAW (flux cored arc welding)	31
2.3.3 Fabricação dos arames tubulares.....	33

2.4 DEFORMAÇÃO PLÁSTICA.....	34
2.4.1 Calandragem	34
2.5 PROCESSO DE CORTE	35
2.5.1 Corte de plasma.....	36
2.5.2 Oxicorte	37
2.6 REVESTIMENTO DE SOLDAGEM	38
2.7 EQUIPAMENTOS.....	38
2.7.1 Tochas de soldagem e acessórios.....	39
2.7.2 Alimentador de arame.....	40
2.7.3 Fonte de soldagem	41
3 METODOLOGIA	42
4 DESENVOLVIMENTO	43
4.1 Fabricação de chapas revestidas	43
4.1.1 Start-up do processo.....	43
4.1.2 Aplicação de metal duro na chapa.....	44
4.1.2.1 Consumível.....	44
4.1.2.2 Equipamentos.....	45
4.1.2.2.1 Fonte de Soldagem.....	45
4.1.2.2.2 Painéis de controle de soldagem.....	46
4.1.2.2.3 Alimentador de arame de soldagem e carro de manipulação.....	46
4.1.2.3 Parâmetros de soldagem.....	47
4.1.3 Finalização da soldagem	48
4.1.4 Processos possíveis com chapa revestida	49
4.1.4.1 Processos de corte	49
4.1.4.2 Caldeiraria e conformações plásticas.	50
4.2 Recuperação de rolos de moagem e rotores de britadores	51
4.2.1 Montagem e regulagem	51

4.2.2 Preenchimento de soldagem no rolo	52
4.2.3 Desmontagem e acabamento	52
4.3 Particularidades do material	53
5 RESULTADO E DISCUSSÕES	54
5.1 Ensaio de Dureza Rockwell	54
5.2 Gráfico	56
6 CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

Em todos os ramos da indústria o desgaste de elementos de máquinas acaba se tornando um problema de manutenção, e se gasta muito tempo de engenharia de projetos para se alcançar uma maneira de se aumentar a vida útil dos seus elementos, mas visando uma relação custo-benefício para não inviabilizar financeiramente os projetos.

E estes desgastes se potencializam ainda mais se tratando de elementos de moagem, onde são encontradas em larga escala nas indústrias cimenteiras, siderurgias, celulose, etc. Mas nem sempre é viável uma troca dos rolos de moagem, tanto pela questão financeira ou mesmo pelo tempo de execução da manutenção em sua substituição.

Como o desgaste por abrasão não é uma ciência exata, não podendo se calcular de uma maneira precisa a geometria e tempo de desgaste. A solda de alta dureza entra como uma grande aliada na manutenção desses equipamentos elevando sua vida útil, por um custo abaixo do que seria empregado em um novo equipamento.

A recuperação do elemento de moagem, resulta da utilização de um material consumível de solda sobre o metal de base desgastado, até que se chegue ao nível original da peça, podendo também ser aplicado algumas camadas de revestimento duro na peça original sem desgaste, assim agregaria propriedades mecânicas ao equipamento e assim já o preparando para um desgaste futuro proveniente à abrasão.

O material utilizado geralmente é um maquinário de MIG/MAG sendo alimentado pelo processo de arame tubular (FCAW – Flux Cored Arc Welding), onde o arame fluxado é composto por uma química de autoproteção, sendo assim, não necessário uso de proteção externa com gases.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Máquina de moagem

São maquinários de médio a grande porte, que tem como finalidades e objetivos a fragmentação e diminuição do tamanho da matéria. Essa transformação da matéria se dá pela força que o equipamento causa sobre a mesma, seja ela de atrito, compressão ou tração (FURLAN,2010).

2.1.1 Princípios de britagem

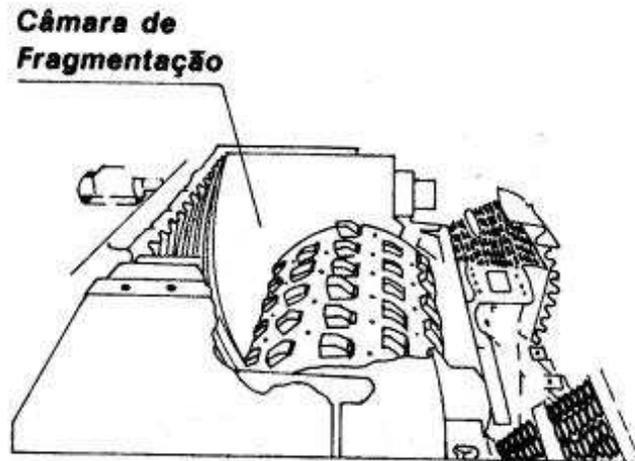
Britagem é uma união de operações que tem como objetivo a fragmentação de grandes materiais, levando-os a granulometria compatíveis para utilização direta ou para posterior processamento. Os equipamentos que possibilitam tais transformações são os britadores (FURLAN,2010).

2.1.1.1 Britadores de rolos

The Crusher Roller, nome em inglês do britador, tem as características de operação segura, de fácil manutenção, baixo custo, tamanho de saída ajustável, ou seja, podem ser utilizados no processamento de materiais frágeis de cimento, metalurgia, as indústrias do carvão (FURLAN,2010).

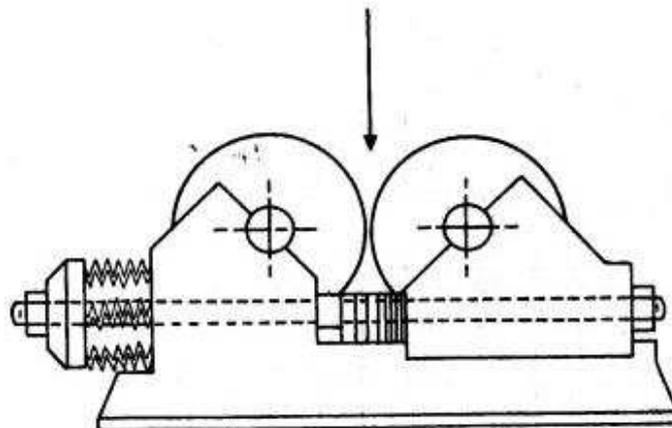
Os Britadores de Rolos, que são Britadores de Britagem Primária ou Britagem Secundária, consistem basicamente de um rolo dentado móvel e uma estrutura fixa (de pares de rolos lisos). O movimento circular do rolo provoca a compressão e cisalhamento da peça entre os dentes e a placa fixada à câmara, ver Figura 1, ou por meio de rolos lisos (girando em sentido complementar), ver Figura 2 (FURLAN,2010).

Figura 1 – Britador de rolo dentado



Fonte: Site Divisão de Equipamentos/Moinhos (2010)

Figura 2 – Britador de rolos lisos



Fonte: Site Divisão de Equipamentos/Moinhos (2010)

2.1.2 Princípios de moagem

A moagem é o último estágio do processo de fragmentação de partículas. Neste estágio as partículas são reduzidas, pela combinação de impacto, compressão, abrasão ou atrito, a um tamanho adequado à liberação do material para a próxima operação unitária ou processo de transformação (BERALDO,1987).

A moagem é a área da fragmentação que requer maiores investimentos, maior gasto de energia e é considerada uma operação importante para o bom desempenho de uma instalação industrial (BERALDO, 1987).

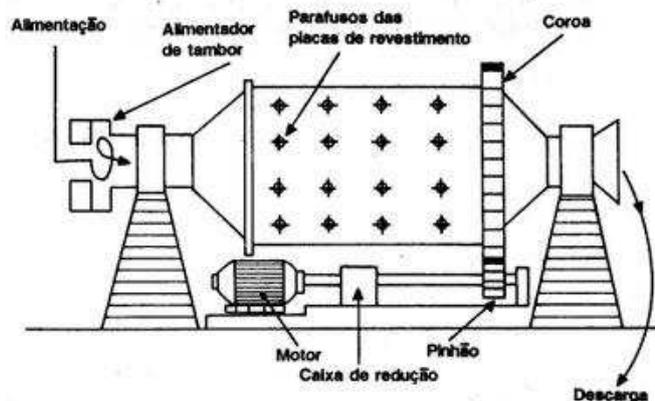
É conclusivo que a moagem deve ser muito bem estudada na etapa de dimensionamento e escolha de equipamento e muito bem controlada na etapa de operação da industrial, pois o bom desempenho de uma instalação industrial depende em muito da operação de moagem (BERALDO, 1987).

Os principais usos da moagem são: aumento da relação superfície /volume, aumentando, com isso, a eficiência de operações posteriores, como extração, aquecimento, resfriamento, desidratação, e melhora ainda a uniformidade do tamanho das partículas do produto, auxiliando na homogeneização de produtos em pó ou na solubilização dos mesmos (BERALDO, 1987).

2.1.2.1 Moinho cilíndricos

Estes moinhos são constituídos de uma carcaça cilíndrica de metal giratória, revestida internamente com placas de aço ou materiais de alta dureza que resistam a severa abrasão, contendo no interior uma carga solta de barras ou esferas de metálicas, Figura 3 (FURLAN,2010).

Figura 3 – Tipo de moinho cilíndrico



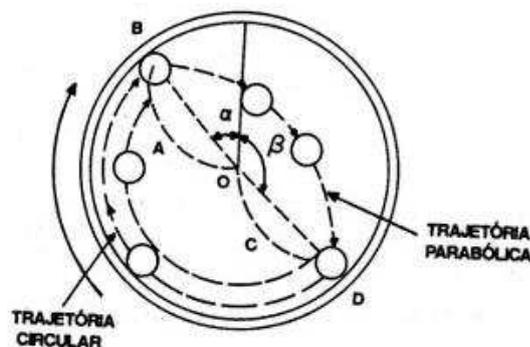
Fonte: Site Divisão de Equipamentos/Moinhos (2010)

Os Moinhos de Cilíndricos de Barras ou Bolas são equipamentos de importante aplicação na industrialização de produtos de baixa granulometria e com uma porcentagem mínima de pó. Equipamentos robustos, duráveis e de grande desempenho, adicionados à excelente facilidade de operação e manutenção (FURLAN, 2010).

2.1.2.1.1 Princípio operacional de moinhos cilíndricos

Os corpos moedores (bolas ou barras) são elevados pelo movimento da carcaça até certo ponto de onde caem, seguindo uma trajetória parabólica, sobre as outras bolas (ou barras) que estão na parte inferior do cilindro e sobre o material que está sendo moído, ocupando os interstícios das bolas ou barras, Figura 4 (FIGUEIRA e ALMEIDA, 2004).

Figura 4 – Trajetória dos corpos moedores

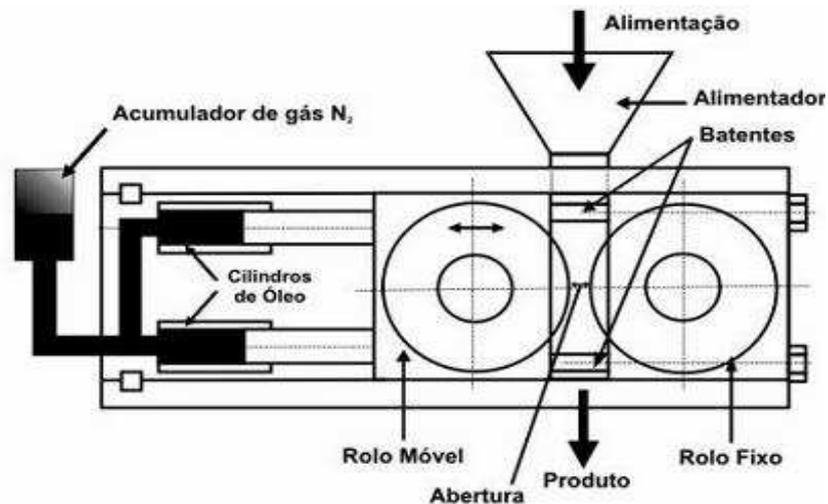


Fonte: Site Divisão de Equipamentos/Moinhos (2010)

2.1.2.2 Moinhos de rolos

Moinho que fornece um produto de textura mais uniforme. Sua versão mais recente é o Moinho de Rolos de Alta Pressão, Figura 5 (FIGUEIRA e ALMEIDA, 2004).

Figura 5 – Moinho de rolos de alta pressão



Fonte: Site Divisão de Equipamentos/Moinhos (2010)

2.1.2.3 Rolos de moagem vertical

Os rolos de moagem em um moinho vertical de rolos são montados estaticamente para gerar forças triturantes contra a mesa rotativa. Tais rolos alteram bastante de um fabricante para outro. A forma do pneu, o número de rolos e o suporte dos rolos são os tópicos de semelhança entre os fornecedores. O método de dimensionamento de suportes dos rolos e eixos é sensível e comparado ao risco técnico. Durante a operação, cargas dinâmicas são induzidas, portanto causam desgaste. Sendo assim, os projetos dos fornecedores devem ser aprovados com cálculos de estresses mecânicos. Os corpos destes rolos são executados de aço fundido ou são de estrutura soldada. No caso de uma estrutura soldada, as soldas devem percorrer todo o caminho. Os rolos têm de ser protegidos por um revestimento periférico (pneu) feito de uma única peça ou em segmentos. Para evitar o desgaste total desses rolos é preciso ter uma vedação entre o eixo do rolo de moagem e o seu eixo (Figura 6) (FLS-SMIDTH, 2011).

Figura 6 – Vedação do rolo



Fonte: Moinho Vertical de Rolos OK (2011)

A lubrificação também deve ser induzida pela circulação de óleo para diminuir o desgaste. Sob condições estáveis de operação do moinho, a temperatura dos rolos não deve ser inferior a 80°C (FLS-SMIDTH, 2011).

Numa fábrica, deseja-se ter uma mesa de moagem e rolos de longa duração, com pelo menos 1 ano de vida útil de operação confiável e impacto mínimo no desgaste do moinho para isso deve se usar revestimentos nessas peças. Além disso o revestimento dos rolos e das mesas deve ser uma superfície uniforme para garantir a transferência eficiente de forças de moagem para a matéria-prima (FLS-SMIDTH, 2011).

O uso de revestimentos incorretos pode causar uma perda na fiabilidade devido a paradas de moinho para reparação/substituição. Além do que, o desgaste dos elementos de moagem aumenta a retenção do material sobre a mesa e tende a aumentar a potência do moinho projetada além de reduzir a eficiência devido à transmissão não uniforme da energia para as matérias-primas (FLS-SMIDTH, 2011).

2.1.2.4 Mesa de moagem do moinho vertical de rolos

Os fabricantes sugerem o tamanho do diâmetro da mesa, basicamente de acordo com o tamanho do motor e a produção esperada (t/h). O fluxo de ar disponível também é importante por causa dos limites para a velocidade máxima de gás dentro do moinho e a elevação máxima de material possível e recirculação sobre a mesa. Testes em moinhos pilotos são feitos e os resultados extrapolados para moinhos industriais (FLS-SMIDTH, 2011).

A mesa geralmente é feita de aço fundido em uma peça, porém um projeto de duas peças é possível, mas representa riscos operacionais mais elevados devido a tensões dentro da montagem. Em ambos os casos, a análise de tensões é necessária e este cálculo deve levar em conta a força de moagem, bem como a carga térmica. Foi afirmado pelos fornecedores que a tensão máxima é alcançada devido à carga térmica, e não devido à força de moagem. Portanto, há menos estresse esperado na moagem de cimento em comparação com a moagem de escórias e matérias-primas, onde temperaturas de até 650°C são introduzidas (FLS-SMIDTH, 2011).

A grande maioria dos moinhos verticais possui as mesas em formato de uma taça. Alguns moinhos possuem, sob a mesa, um revestimento antitérmico para melhorar a proteção do sistema de acionamento. Devido ao formato da mesa e o ponto de aplicação de carga dos rolos de moagem, as mesas têm grande tendência para sofrerem trincas. Os revestimentos da mesa de moagem e dos rolos são do tipo segmentado e, portanto, fáceis de trocar ao apresentarem desgaste. Para moinhos que moem materiais muito abrasivos como escória, o revestimento rígido é um meio interessante e viável de atingir uma alta capacidade do sistema de moagem, otimizando o processo de moagem e economizando custos de reforma (FLS-SMIDTH, 2011).

O revestimento rígido (Figura 7) é uma alternativa econômica para a troca de peças desgastadas e é bastante adequado para peças de moagem em ferro fundido de alto cromo. Caso sejam do tipo segmentado, os revestimentos de desgaste poderão ser revestidos de forma rígida várias vezes ao longo do ciclo de vida (FLS-SMIDTH, 2011).

Figura 7 - Revestimento rígido



Fonte: Moinho Vertical de Rolos OK (2011)

2.2 Quais os principais desgastes

O fenômeno do desgaste é de maneira geral, o deslocamento de material causado pela presença de partículas duras que estão entre ou embutidas em uma ou ambas superfícies em movimento relativo. Nos metais, esse processo pode ocorrer pelo contato com outros metais, sólidos não metálicos, líquidos em movimento, ou ainda partículas sólidas ou partículas de líquido transportadas em um fluxo gasoso (FLS-SMIDTH, 2011).

2.2.1 Abrasão

. O desgaste por abrasão pode ser entre dois corpos e entre três corpos. Esse tipo acontece quando há uma remoção de massa da superfície devido a partes duras que estão entre as áreas que estão em movimentos (MONTEIRO e CUNHA, 1993).

O termo duro significa que a substância produzindo o desgaste é realmente mais dura que a superfície sendo danificada por desgaste. Um aprovador adicional é que as partículas que causam o gasto usualmente têm cantos agudos para produzir uma abertura ou ação cisalhante no sólido que está sendo obrigado ao consumo. Tem

dois tipos de abrasão: desgaste por abrasão em alta e em baixa tensão (MONTEIRO e CUNHA, 1993).

2.2.1.1 Desgaste por abrasão em baixa tensão

Neste tipo de degradação pode-se estabelecer o critério que as forças devem ser baixas o suficiente para não causar a divisão do abrasivo. Padrões desse tipo de gasto por abrasão são os mancais de deslize quando atuam em ambientes sujos (MONTEIRO e CUNHA, 1993).

2.2.1.2 Desgaste por abrasão com altas

Similares as da Abrasão à baixas tensões. Porém a resistência a compressão da superfície se torna mais importante. Para resistir a este tipo de desgaste a resistência a compressão da superfície deve ser maior do que aquela do abrasivo (MONTEIRO e CUNHA, 1993).

Eles se caracterizassem pelos arranhões, deformação plástica e buracos marcados na superfície. Normalmente esse tipo de desgaste é mais severo e produz deformações plásticas e ranhuras profundas na direção do movimento (MONTEIRO e CUNHA, 1993).

2.2.2 Desgaste por adesão ou fricção

Esse desgaste é geralmente identificado pelo cisalhamento superficial ou destacamento de material com o resultado do movimento relativo entre as duas superfícies, as quais se desgastam pela ação dos fragmentos soltos (MONTEIRO e CUNHA, 1993).

2.2.3 Desgaste por fadiga superficial

Ocorre em componentes submetidos a carregamentos cíclicos, onde normalmente não há grandes perdas de material da superfície. Está proximamente relacionado ao fenômeno geral da fadiga e similarmente sujeito a um período de incubação antes do aparecimento dos danos. O desgaste ocorre principalmente pela remoção do material da superfície por ação mecânica. Entretanto, em muitos casos, a ação química sobre a superfície pode afetar o processo do desgaste mecânico. Quando em temperatura ambiente, denomina-se fadiga de contato e, acima de 100 graus Celsius, fadiga térmica (MONTEIRO e CUNHA, 1993).

2.3 Soldagem

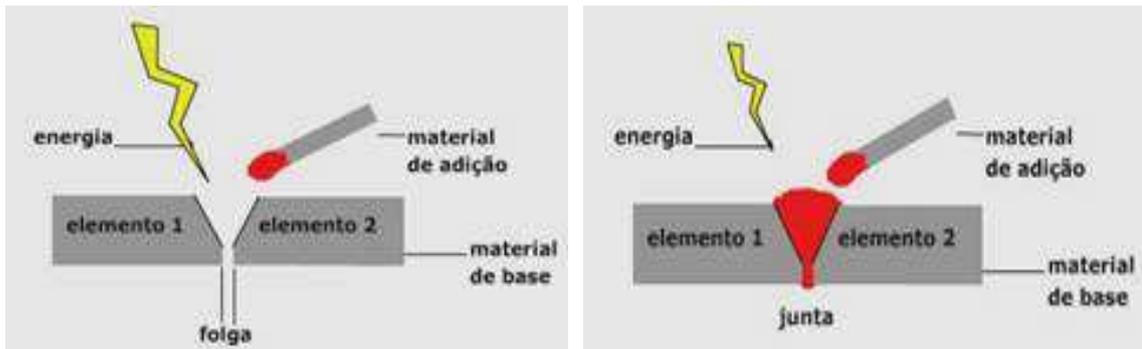
A Soldagem é um processo que consiste na união de materiais (geralmente os metais). É o processo de união mais importante do ponto de vista industrial sendo extensivamente utilizada na fabricação e recuperação de peças, equipamentos e estruturas. Outro conceito muito utilizado: é a operação que visa a união de duas ou mais peças, assegurando em sua emenda, a continuidade das propriedades físicas e químicas do material. Existem inúmeros processos de soldagem diferentes, sendo necessária a um estudo prévio do processo (ou processos) adequado para uma dada aplicação. Esta união de metais não ocorre tão facilmente pois, a aproximação das superfícies a distâncias suficientes para a criação de ligações químicas entre os seus átomos é dificultada pela rugosidade microscópica e camadas de óxido, e materiais contaminantes como umidade, gordura, poeira e outros existentes em toda superfície metálica (WAINER; BRANDI; MELLO, 2000).

2.3.1 Material de adição

É o material que será utilizado para preencher a junta e unir os dois metais durante o processo de soldagem. O metal de adição é de mesma natureza das partes

para se assegurar a continuidade de propriedades no caso da soldagem por fusão, de chapas ou peças relativamente espessas. Ele preencherá esta junta, tornando assim os materiais um só, conforme a Figura 8 (WAINER; BRANDI; MELLO, 2000).

Figura 8 – Ilustração de preenchimento com material de adição



Fonte: Soldagem processo e metalurgia (2000)

2.3.2 Soldagem elétrica a arco voltaico

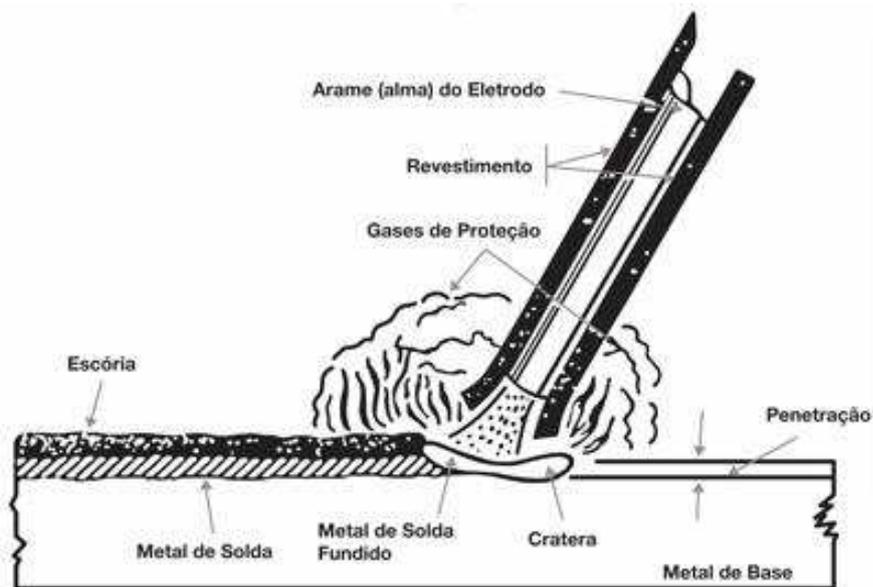
A fusão origina-se da ação direta e localizada de um arco voltaico. A principal vantagem é o arco permite obter elevadas temperaturas num pequeno espaço, limitando a zona de influência calorífica. Permite o uso de qualquer atmosfera gasosa, que quando neutra, proporciona menor contaminação do banho metálico (WAINER; BRANDI; MELLO, 2000).

O hidrogênio se dissocia no arco elétrico, passando para o estado atômico com absorção de energia. Em contato com o metal de solda ou com as peças a unir, mais frios, o hidrogênio volta ao estado molecular, liberando calor e aumentando o rendimento térmico do processo. A chama produzida pela queima do hidrogênio também contribuía para o rendimento térmico. A fonte de energia era um transformador especial para produzir a alta tensão para acender o arco (acima de 70 volts), mas sem perigo para o soldador (WAINER; BRANDI; MELLO, 2000).

2.3.1.1 Soldagem com eletrodo revestido – SWAW (SHIELD METAL ARC WELDING)

Os ingredientes que formam o revestimento são triturados, dosados e misturados até a obtenção de uma massa homogênea. A massa é conformada sobre as varetas metálicas, com comprimentos padrão a partir de 300 mm. Em seguida o revestimento de uma das extremidades é removido para permitir o contato elétrico com o porta-eletrodo. O eletrodo pode ter polaridade negativa ou positiva dependendo da penetração desejada (ver figura 9). A tomada de corrente, portanto é feita numa extremidade, e o arco arde na outra. A escolha dos ingredientes do revestimento determina o resultado desejado, como eletrodos básicos, ácidos (VEIGA, 2011).

Figura 9 – Processo de soldagem com eletrodo revestido



Fonte: Processo de soldagem MIG/MAG (2011)

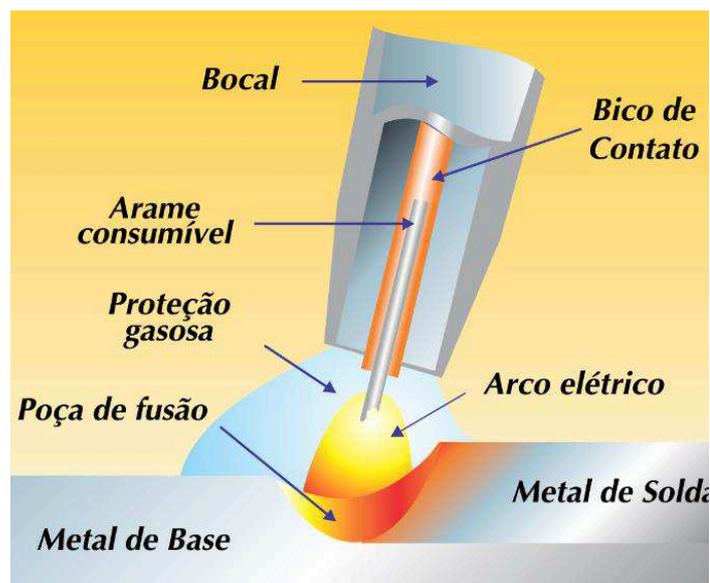
2.3.1.2 Soldagem MIG/MAG GMAW (GAS METAL ARC WELDING)

A soldagem a arco elétrico com proteção gasosa é um processo em que a união de peças metálicas é produzida pela fusão das mesmas, através de um arco elétrico estabelecido entre um arame contínuo e a peça em volta por uma cortina de gás de

proteção, evitando a contaminação pelo ar atmosférico. A ligação correta é sempre do arame ao polo positivo, por sua maior contração de calor, possibilitando o envio do arame em altas velocidades em direção à poça de fusão. Arco visível, possibilidade de variar o arco durante a soldagem, possibilidade de controlar a penetração no caso de soldagem e a diluição no caso de revestimento (VEIGA, 2011).

É constituído de um arame fino (0,8 a 1,6 mm), bobinado em carretéis apropriados e conduzido até o arco através de pequenos rolos impulsioneiros acionados por um motor (Figura 10). O contato elétrico é feito por um deslizamento entre o fio e um; pequeno tubo de cobre colocado no interior do bocal de gás, imediatamente antes do arco elétrico (VEIGA, 2011).

Figura 10 – Processo de soldagem MIG/MAG



Fonte: Processo de soldagem MIG/MAG (2011)

2.3.1.3 Soldagem de arco submerso

No processo, um arame nu é alimentado continuamente e funde-se no arco voltaico sob a proteção de um fluxo de pó. Dependendo das condições trabalha-se com diferentes pós. Os pós são diferenciados por: tipo de fabricação, composição e granulação. O arco arde numa caverna dentro de um banho de escória, que ao solidificar-se recobre o cordão (VEIGA, 2011).

As densidades de corrente atingem 150 A/mm^2 em arames-eletrodo de 2,4 mm (duas vezes o diâmetro usado no processo MIG/MAG). Como o arco é enclausurado (na escória líquida), o rendimento térmico é elevado. Estes dois fatores propiciam uma grande velocidade de fusão (VEIGA, 2011).

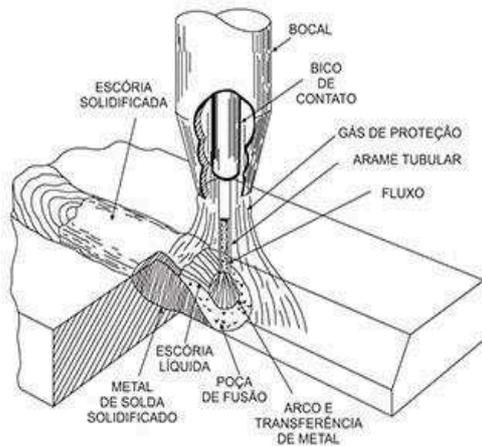
Pode-se soldar chapas de até 15 mm de espessura sem chanfrar os bordos. Custo: Para chapas espessas, soldadas com várias passadas, é um dos processos mais econômicos. Entretanto se caracteriza por alto investimento inicial. Limitações: Limita-se a soldagem na posição plana e horizontal do filete (VEIGA, 2011).

2.3.1.4 Soldagem com arame tubular – FCAW (FLUX CORED ARC WELDING)

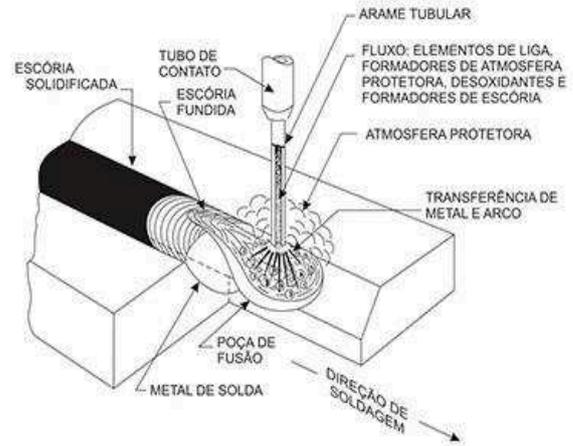
Através do aquecimento de um arco elétrico é produzida uma poça de fusão de metais estabelecido entre um eletrodo metálico tubular, de alimentação contínua e a peça. A proteção desta poça e do cordão de solda pode ser feita adicionalmente por uma atmosfera de gás estabelecida por um cilindro externo. Assim, temos uma alta taxa de deposição, ótimo rendimento e qualidade na soldagem com proteção gasosa e, simultaneamente, uma alta versatilidade. Além desta proteção, que o gás externo proporciona, ele pode ter outras funções semelhantes às dos revestimentos dos eletrodos, como por exemplo: desoxidar o metal de solda, adicionar elementos de liga e fornecer elementos estabilizadores para o arco, Figura 11 (VEIGA, 2011).

Figura 11 – Soldagem com arames tubulares

Soldagem com arames tubulares com proteção externa



Soldagem com arames tubulares autoprotégidos



Fonte: Processo de soldagem MIG/MAG (2011)

Os arames tubulares foram processados para atender às necessidades das empresas afim de aumentar a competitividade e de reduzir custos. O processo de soldagem com arame tubular é muito parecido ao processo MIG/MAG, principalmente os equipamentos utilizados. Porém, o arame utilizado na soldagem é tubular (formato de tubo), sendo seu interior preenchido por um fluxo, o que garante a este processo características especiais (VEIGA, 2011).

A combinação do fluxo aglomerado no interior do arame aliada à proteção gasosa, produz soldas de alta qualidade, arco estável e baixos níveis de respingos. A composição química do fluxo também interfere nas propriedades mecânicas do material de adição (VEIGA, 2011).

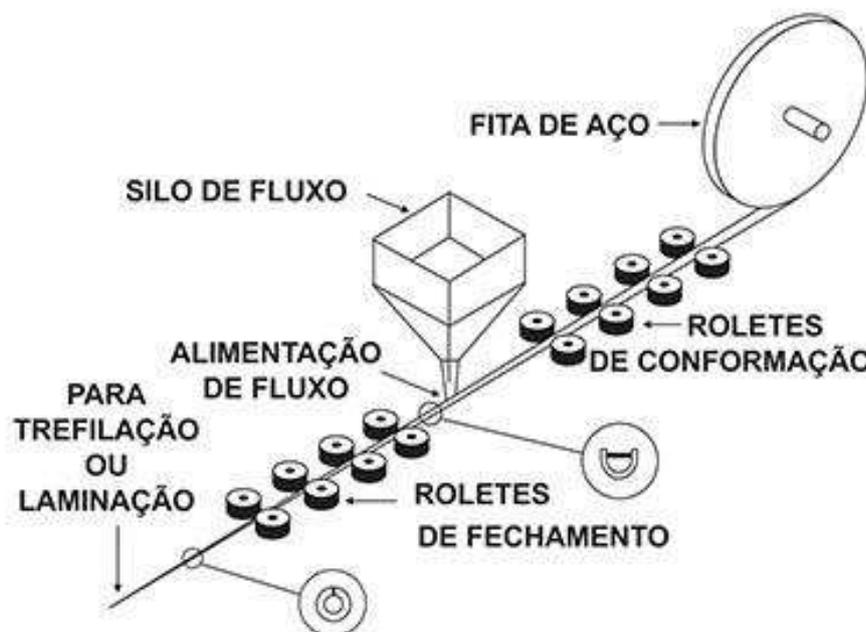
A utilização deste processo de soldagem tem aumentado de maneira significativa nos últimos anos, no Brasil e no mundo. As altas taxas de deposição e os estudos para se desenvolver novos consumíveis tem levado as empresas a migrar para este processo. Segmentos como o naval & offshore, construção pesada, soldagem de perfis estruturais, automobilístico e reparo e manutenção estão entre os que mais utilizam este processo de soldagem (VEIGA, 2011).

2.3.3 Fabricação dos arames tubulares

A fabricação de arames tubulares é feita a partir de fitas metálicas na forma de bobinas. São alimentadas continuamente sendo deformada por meio de roletes até que fiquem com a forma de um "U", e em seguida é carregada com o fluxo e/ou pó metálico que elabora o interior do arame. Após esta fase a fita passa por roletes de fechamento até adquirir a forma de tubo, com o fluxo na parte interna. O arame é então trefilado ou laminado até o diâmetro estimado e em seguida bobinado, embalado e identificado (WELERSON, 2004).

O processo de fabricação dos arames tubulares requisita rigoroso controle de qualidade, especialmente com relação à composição química do fluxo e da fita metálica. Ambos necessitam ser cuidadosamente inspecionados, uma vez que serão adicionados à poça de fusão. Durante a fabricação precisam também ocorrer controle rigoroso para assegurar que não haverá áreas no interior dos arames sem preenchimento de fluxo, Figura 12 (WELERSON, 2004).

Figura 12 – Processo de fabricação do arame tubular

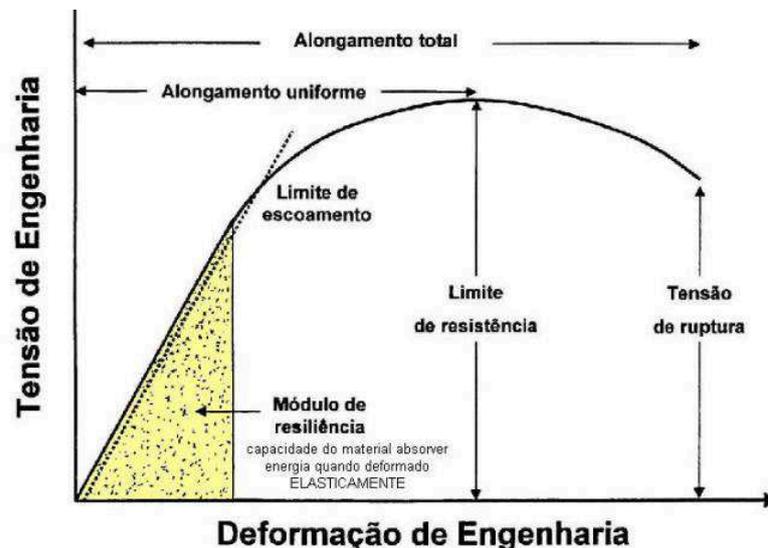


Fonte: A Ocorrência do "Finger" (2004)

2.4 DEFORMAÇÃO PLÁSTICA

Regime de deformação em que ocorre uma mudança permanente na forma do objeto, ocorrido quando se aplicam uma força superior que excede os limites de escoamento do material (deformação elástica). Em outras palavras, é a deformação permanente causada decorrente do deslocamento de átomos ou moléculas onde migram para novas posições dentro do plano reticulado. A deformação plástica dos metais efetiva-se por meio de dois processos fundamentais: deformação por escorregamento (resultante de esforços de cisalhamento) e deformação por malhação, Figura 13 (WELERSON, 2004).

Figura 13 – Gráfico Tensão X Deformação



Fonte: A Ocorrência do "Finger" (2004)

2.4.1 Calandragem

Calandragem é o processo que resulta na deformação plástica de um material, realizada sob esforços de tração e compressão. Ao final do processo a massa e o volume do material se mantêm, não havendo qualquer alteração nas propriedades químicas da matéria-prima (WELERSON, 2004).

O equipamento responsável por essa transformação da matéria-prima é a calandra, que podem ser encontradas no mercado em vários formatos que varia de acordo com a necessidade de uso. As calandras mais comuns são encontradas com a configuração de 3 ou 4 rolos, que usam as forças de atrito para realizar a deformação do material (WELERSON, 2004).

Um exemplo é a calandra de 3 rolos (ver Figura 14) onde a chapa é introduzida nos dois rolos inferiores que através do atrito fazem a movimentação da chapa (sentido horizontal), e o rolo superior é operado para que comprima a chapa (sentido vertical) para se obter o raio e a conformação desejada (WELERSON, 2004).

Figura 14 - Calandragem



Fonte: A Ocorrência do “Finger” (2004)

2.5 PROCESSO DE CORTE

O corte de metais é um processo fabril que antecede uma montagem ou uma preparação de serviço, este processo tem como função a separação de metais ou apenas a remoção de uma determinada massa do mesmo. Existem alguns métodos de corte como: mecanicamente, reação química, por fusão ou elevada concentração de energia (WELERSON, 2004).

- a) Mecanicamente: por meio de guilhotinas, tesouras, serras, usinagem mecânica, usinagem mecânica e etc.
- b) Por fusão: Utiliza como fonte de calor um arco elétrico
- c) Reação química: onde o corte se processa através de reações exotérmicas de oxidação do metal.
- d) Elevada concentração de energia: neste grupo o princípio de concentração de energia como característica principal de funcionamento. Enquadram neste processo o corte de jato d'água de elevada pressão, Laser e algumas variantes do corte a plasma.

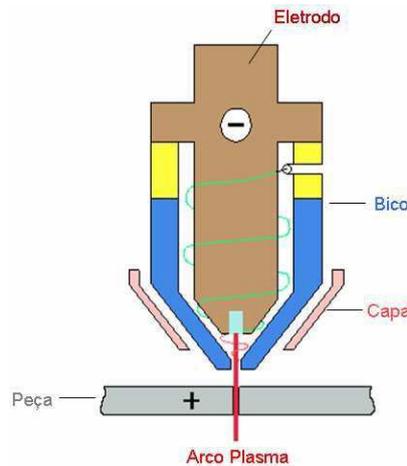
2.5.1 Corte de plasma

O corte a plasma usa o calor de um arco de aproximadamente 14000°C para cortar qualquer metal ferroso ou não-ferroso (WELERSON, 2004).

É um processo de corte que separa metais pela fusão de uma área localizada sob um arco constrito e a remoção do material fundido com um jato (de alta velocidade) de gás ionizado quente saindo de um orifício. Pode ser usado em corte manualmente usando um equipamento portátil ou de maneira automatizada com auxílio de programação CNC. É usado e preciso para corte de aços não-ferrosos com espessura variantes de fina para média. Muito eficiente para corte de aços ligados que produzem óxidos refratários como alumínio e aços inoxidáveis (WELERSON, 2004).

O processo usa um arco atirado ente um eletrodo resfriado a água e a peça, com corrente contínua e polaridade negativa (Figura 15). Neste processo se obtém uma qualidade de corte superior se comparado a outros processos de corte por calor (WELERSON, 2004).

Figura 15 – Processo de corte plasma



Fonte: A Ocorrência do “Finger” (2004)

2.5.2 Oxicorte

É um processo de corte onde a separação ou remoção do metal é acompanhada pela reação química do oxigênio com metal a uma temperatura elevada. Os óxidos resultantes dessa reação (Fe_2O_3 – FeO – Fe_3O_4), tendo ponto de fusão menor que o metal se fundem e escoam. Com o escoamento dos óxidos boa parte do metal é oxidado e o processo continua (WELERSON, 2004).

Este processo se baseia na combinação de um gás combustível e um gás comburente, onde misturados e regulados por meio de válvulas se forma uma chama contínua para o aquecimento da peça, que quando se obtém a temperatura de ignição que é próxima a temperatura de fusão do metal, é acionada uma terceira válvula que libera um jato de oxigênio que através de sua velocidade provoca a reação de combustão na peça e a abertura de um rasgo na peça (WELERSON, 2004).

Este processo não é aplicado em aços ligados que contenham elementos que produzam óxidos refratários (WELERSON, 2004).

2.6 REVESTIMENTO DE SOLDAGEM

O custo de substituição de componentes que se desgastam ou se danificam durante um serviço levou ao desenvolvimento de um vasto leque de técnicas conhecidas como revestimento duro, que pode restaurar as partes dando condições de reutilização. Muitos desses reparos têm vida mais longa que o componente original devido à possibilidade de depositar revestimentos mais resistentes ao desgaste, impacto, abrasão ou corrosão que o material original (WELERSON, 2004).

A taxa de deposição e diluição são os fatores que mais afetam as propriedades do revestimento. Estes fatores são dependentes das variáveis do processo que controlam o potencial de soldagem, isto é, tensão, corrente elétrica, velocidade de soldagem, etc. Para alta produtividade, é importante que se tenha uma alta taxa de depósito com baixa diluição e penetração uniforme (WELERSON, 2004).

A aplicação da soldagem de revestimento necessita estar bem definida, pois a altura do cordão de solda não pode ser excessiva que implique na perda acentuada de material do revestimento num processo de fabricação subsequente ao da soldagem como por exemplo, usinagem. Há que se conciliar uma penetração do cordão, de tal forma que não produza uma zona afetada pelo calor muito larga e com regiões de alta dureza, bem como baixa diluição para não mudar as características do revestimento (WELERSON, 2004).

Os depósitos de revestimento efetuados por soldagem são caracterizados pela composição variável e por uma cinética de solidificação que influenciam na microestrutura do depósito. Não é de surpreender que a qualidade e as propriedades do revestimento soldado dependam do processo e da técnica de soldagem (WELERSON, 2004).

2.7 EQUIPAMENTOS

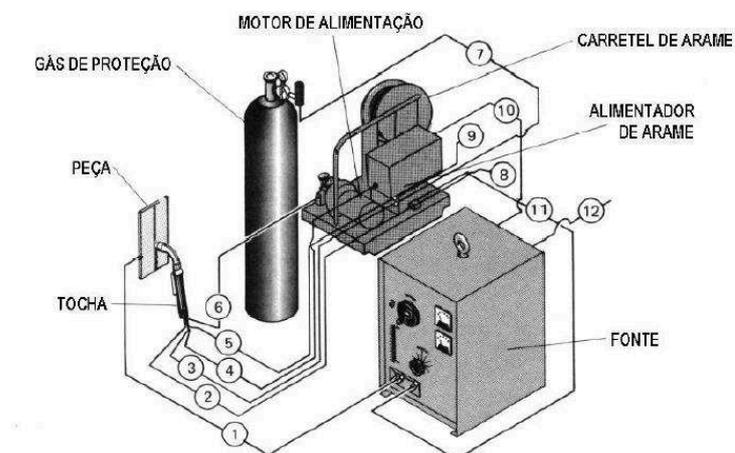
Para soldagem a arco elétrico são utilizadas máquinas que apresentem a capacidade de fazer a fusão dos materiais em questão, essas máquinas podem ser tanto uma

inversora quanto transformadora. Além das necessidades de consumíveis que variam de acordo com o processo escolhido (WELERSON, 2004).

2.7.1 Tochas de soldagem e acessórios

A tocha guia do arame e o gás de proteção para ponto de soldagem. Ela também leva a energia de solda até o arame. Elas variam desde tochas para ciclos de trabalho pesados para atividades envolvendo altas correntes até tochas leves para baixas correntes. Em ambos os fatos estão disponíveis tochas refrigeradas a água ou secas, e tochas com extremidades retas ou curvas. Geralmente são adicionados sistemas de refrigeração na tocha para facilitar manipulação (Figura 16) (WELERSON, 2004).

Figura 16 – Instalações para soldagem manual

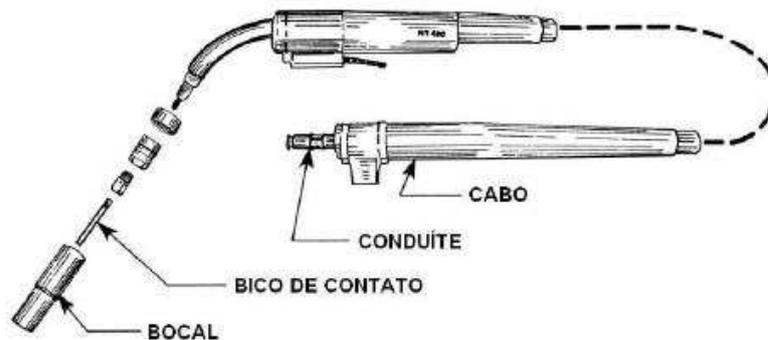


Fonte: A Ocorrência do “Finger” (2004)

O bico de contato é elaborado de cobre e é usado para conduzir a energia de soldagem até o arame, bem como gerir o arame até a peça. A tocha é ligada à fonte de soldagem pelo cabo de solda. Como o arame deve ser alimentado pelo bico de contato, seu diâmetro interno é crucial. O bico de contato, que é uma peça de reposição, deve ser preso firme à tocha e centrado no bocal (WELERSON, 2004).

O bocal aponta um fluxo de gás até a região de soldagem. Bocais amplos são usados na soldagem a altas correntes em que a poça de fusão é larga. Bocais pequenos são empregados na soldagem a baixas correntes. O conduíte é ligado entre a tocha e as roldanas de alimentação. Ele guia o arame à tocha e ao bico de contato. É essencial uma alimentação uniforme para se atingir a estabilidade do arco. Quando não suportado adequadamente pelo conduíte, o arame pode se enrolar, Figura 17 (WELERSON, 2004).

Figura 17 – Tocha MIG/MAG



Fonte: A Ocorrência do “Finger” (2004)

2.7.2 Alimentador de arame

O motor de alimentação de arame e o controle de soldagem são constantemente fornecidos em um único módulo. Sua essencial função é carregar o arame do carretel e alimentá-lo ao arco. O controle mantém a velocidade fixada do arame a um valor adequado à ação. O controle não apenas guarda a velocidade de ajuste independente do peso, mas também ordena o início e fim da alimentação do arame a partir do sinal encaminhado pelo gatilho da tocha (WELERSON, 2004).

O gás de proteção, a água e a fonte de soldagem são normalmente conduzidos à tocha pela caixa de controle. Pelo uso de válvulas solenoides os fluxos de gás e de água são orientados com o fluxo da corrente de soldagem. O controle determina a

série de fluxo de gás e energização do contator da fonte. Ele também libera o pré e pós-fluxo de gás (WELERSON, 2004).

2.7.3 Fonte de soldagem

Quase totalmente as soldas com o processo MIG/MAG são realizadas com polaridade reversa (CC+). O polo positivo é ligado à tocha, enquanto o negativo é conectado à peça. Já que a velocidade de alimentação do arame e, logo, a corrente é moderada pelo controle de soldagem, o ajuste básico pronto pela fonte de soldagem é no comprimento do arco, que é acertado pela tensão de soldagem. A fonte de soldagem além disso pode ter um ou dois ajustes adicionais para uso com outras aplicações de soldagem (WELERSON, 2004).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados o tipo de pesquisa do estudo proposto, classificação da pesquisa e procedimentos metodológicos utilizados neste trabalho.

O método é o caminho ou a maneira para se chegar a determinado fim ou objetivo e metodologia são os procedimentos e regras utilizados por determinado método.

Partindo da definição do autor, verifica-se que para realizar uma pesquisa científica é necessário definir claramente quais os procedimentos metodológicos que serão utilizados.

Nossa pesquisa, então, do ponto de vista da sua natureza, classifica-se como pesquisa aplicada, pois visa gerar conhecimento de aplicação prática descrevendo o processo na recuperação de peças por uma empresa através do processo de metalização.

Em relação ao objetivo da pesquisa, este trabalho pode ser considerado como pesquisa Exploratória e Descritiva. Segundo Gil (2002) pesquisas exploratórias têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses, incluindo levantamento bibliográfico e entrevistas. Também Gil (2002) ressalta que a Pesquisa Descritiva tem como objetivo primordial a descrição das características de determinado fenômeno ou processo, o que também é realizado neste estudo, onde os detalhes de cada parte do processo e suas principais variáveis são relatadas através de informações coletadas em procedimentos e pesquisas no chão de fábrica (Abordagem Qualitativa) com todos os colaboradores envolvidos em cada etapa do processo de recuperação.

4 DESENVOLVIMENTO

Nosso estudo foi realizado na empresa, Maxweld Comércio e Serviço de Soldagem, que nos cedeu suas dependências para podermos acompanhar o processo e fazer registros do mesmo. As etapas dos processos serão descritas a baixo de formas simplificadas, para fins de sigilos de processos industriais.

4.1 Fabricação de chapas revestidas

As chapas produzidas por este procedimento específico, são fabricadas para se suportar e se submeter a altas temperaturas de trabalho e por desgaste à abrasão, onde seus principais clientes se encontram nas indústrias:

- a) Cimenteiras
- b) Siderúrgicas
- c) Mineradoras
- d) Celulose e papel
- e) Metalúrgicas
- f) Naval
- g) Sucroalcooleira

4.1.1 Start-up do processo

O Start-up do processo começa com a escolha da espessura do material de base a ser revestido, ASTM A36 com medidas padrões de 1500x3000mm. (Ver tabela 1)

Logo após a escolha o material é posto sobre uma mesa onde será devidamente travado por meio de cunhas de fixação. As cunhas aprisionam a chapa

na mesa a modo de se evitar uma maior deformação plástica na chapa durante o processo devido ao calor inerente a soldagem.

4.1.2 Aplicação de metal duro na chapa

Após a escolha do material da chapa e sua espessura se dará o início do processo de metalização, que é a aplicação de uma camada de solda sobre a chapa escolhida.

4.1.2.1 Consumível

Arame tubular para soldagem, sem proteção gasosa, feito para aplicações de revestimento duro onde se exijam elevada resistência à abrasão e resistência moderada ao impacto, para soldagem de chapas revestidas e recuperação de componentes moedores. Resultando em um depósito com matriz austenítica e carbonetos de Cromo dispersos nessa matriz. O arame utilizado é enriquecido em Cromo, que é a principal matéria-prima, que faz com que ele atinja essas propriedades desejadas, ver Tabela 1.

Tabela 1 - Composição Química Exigida (aproximada*)

Material	%C	%Si	%Mn	%Cr
Carboneto de Cromo (monopasse)	6,00	0,9	1,5	26,00
	A	A	A	A
	8,00	2,00	2,3	31,00

*aproximados, para fins de sigilo comercial.

Fonte: Elaborada pelo autor

4.1.2.2 Equipamentos

Os equipamentos utilizados neste processo, se baseiam nos mesmos equipamentos de uso nos processos MIG/MAG e de Arame Tubular. Necessitando de algumas adaptações para se obter a automatização do processo.

4.1.2.2.1 Fonte de Soldagem

São utilizadas para fabricação das chapas uma fonte transformadora / retificadora da série Miller Subarc DC 650. Uma máquina multi-processos, com funções SMAW (eletrodo revestido), SAW (arco submerso) e GMAW (MIG/MAG). Equipada com 4 cabos de correntes de 25mm de bitola (2 positivos e 2 negativos), para suportar as correntes constantes que variam de 450 à 500 A e tensão de 30 à 32 V e 1 Cabo de comando que é conectado ao painel de controle de soldagem, ver Figura 18.

Figura 18 – Fonte de soldagem



Fonte: Autor

4.1.2.2.2 Painéis de controle de soldagem

Painel eletrônico de fabricação própria da empresa (Maxweld) e controle de alimentação de arame Miller.

O cabo de comando que sai da máquina é conectado ao painel de alimentação de arame, que é manuseado para se ajustar aos parâmetros desejados de soldagem. Onde além de ajustar a amperagem é capaz de selecionar funções de soldagem, ver Figura 19.

Já o painel eletrônico de movimentação tem como função, a programação do dimensionamento da zona soldada. Podendo ajustar de maneira prévia o comprimento e a largura desejada. Este painel habilita os movimentos X, Y e Z.

Figura 19 – Painel de alimentação sobre o painel de movimentação



Fonte: Autor

4.1.2.2.3 Alimentador de arame de soldagem e carro de manipulação.

Alimentador de arame e carro de manipulação de soldagem de fabricação própria, conforme Figura 20.

O painel de alimentação é conectado ao alimentador de arame, através dos ajustes no painel se controla a velocidade das roldanas do conjunto, aumentando ou diminuindo sua velocidade de deposição do arame de soldagem na zona de fusão.

Já o carro de manipulação é posto sobre uma viga na horizontal, onde recebe os comandos vindo do painel de movimentação que se controla os movimentos nos eixos X, Y e Z

Figura 20 - Alimentador de arame e carro de manipulação. (Próprio autor)



Fonte: Autor

4.1.2.3 Parâmetros de soldagem

Utilizado processo de soldagem de arame tubular automatizado (FCAW), com alimentação de arame tubular MAXDUR 150 (FABRICAÇÃO PRÓPRIA) de 3,2 mm, ver Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros de soldagem

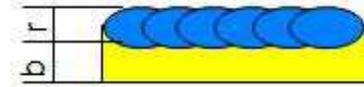
Corrente	450~500 A
Tensão	30,5~32 V
Polaridade	CC +
Stickout	25~40mm
∅ do arame	3,2mm

Fonte: Elaborada pelo autor

4.1.3 Finalização da soldagem

Ao término do processo a chapa se encontra com dimensões padrões de 1220x2740mm (dimensão da área revestida com material duro, ver Figura 21 e Tabela 3). Ela é desprendida da mesa de fixação e passada para continuidade de outros processos de fabricação.

Figura 21 – Dimensões da chapa



Dimensões: 1220mm x 2740mm

Fonte: Autor

Tabela 3 – Material base e revestimento

Material Base (b):	5	6	7	8	8	10	10	12	15
Revestimento (r):	3	4	6	7	8	5	7	5	5

Fonte: Elaborada pelo autor

4.1.4 Processos possíveis com chapa revestida

Após a retirada da chapa da mesa e fixação o processo seguinte dependerá da necessidade do cliente. Onde a chapa pode assumir várias formas geométricas através do corte à plasma e formatos através de conformações plásticas e caldeiraria.

4.1.4.1 Processos de corte

Como o metal de revestimento é um material de alta liga de Cromo com matrizes autênticas, torna-se ineficiente o uso de maçarico como uma alternativa para o corte das peças, pois seu uso é limitado para materiais de aço carbono e de baixa ligas. Sendo assim o método empregado nos cortes das peças à base de Cromo é o de corte à Plasma (CNC ou manual), pois é um processo de alta eficiência para corte de materiais ferrosos e não-ferrosos, ligados e não-ligados. Podendo através de suas programações CNC, empregar as formas desejadas pelo cliente (Figura 22).

Figura 22 - Chapas após corte à plasma



Fonte: Autor

4.1.4.2 Caldeiraria e conformações plásticas.

Também é possível empregar conformações plástica nas chapas revestidas, para atender os clientes de inúmeras maneiras. Este procedimento é feito por meio de calandragem ou dobramento, passando a ser um processo simples com o adento de que se é necessário aplicar uma força maior para se alcançar a forma desejada, já que o material de revestimento emprega uma maior resistência a deformação ao material de base.

E com o auxílio de técnicas de caldeiraria e montagem e profissionais capacitados, é possível a montagem e elaboração de equipamentos usando-se a chapa com o material duro depositado. Também podendo se aplicar uma gama infinita de montagens de acordo com projetos e necessidades de cliente, ver Figura 23.

Outros processos de soldagem usados na caldeiraria são de: MIG/MAG(GMAW) e eletrodo revestido (SMAW). Sendo importante se destacar que a montagem deve ser feita apenas pelas costas da peça (face sem revestimento, aço carbono) pois o material de alta dureza não tem soldabilidade alguma.

Figura 23 - Conformação e caldeiraria (revestimento pintado de azul)



Fonte: Autor

4.2 Recuperação de rolos de moagem e rotores de britadores

Outra atividade que acompanhamos foi a recuperação dos elementos de moagem, que com o tempo se desgastam e são enviados pelos clientes para suas devidas recuperação de perfil, chegando o mais próximo possível ao formato original. Esta recuperação consiste em aplicar o material duro no local de desgaste onde será preenchido até que se alcance o nível estabelecido em projeto original ou orçamento do contratante (com o projeto do equipamento original é possível a confecção de gabaritos comparativos de medidas).

4.2.1 Montagem e regulagem

A montagem do rolo ou rotor do britador é elaborada pela equipe, onde ajustam as medidas dos itens para se adequarem à mesa posicionadora e manipuladora de soldagem, conforme Figura 24.

A mesa posicionadora é constituída por duas movimentações: inclinação de 0° à 90° e rotação sobre seu eixo. Possibilitando assim inúmeras possibilidades e variações de soldagem.

Figura 24 – Mesa posicionadora com rolo de moagem montado



Fonte: Autor

4.2.2 Preenchimento de soldagem no rolo

Após posicionar e alinhar o rolo é iniciada a montagem de equipamentos (descritos nos itens 4.1.2.2) e escolha do arame de soldagem (descrito no item 4.1.2.1), para se dar o start-up na atividade, Figura 25.

Figura 25 – Soldagem do rolo de moagem



Fonte: Autor

4.2.3 Desmontagem e acabamento.

Após a finalização da soldagem é realizada uma inspeção visual da área soldada. Nesta inspeção é verificada se há algum destacamento visível, porosidade ou alguma trinca que possa colocar em risco a integridade do equipamento.

Logo é iniciado o processo de desmontagem dos equipamentos de controle de soldagem. Feito isso o operador entra na etapa de acabamento, que é feita por meio de esmerilhamento para retirada apenas de respingos de soldagem, não sendo necessário um acabamento preciso pois os equipamentos são para moagem

grosseiras. Para finalizar é aplicada uma camada de tinta para evitar oxidações, conforme Figura 26.

Vale destacar que este material não tem usinabilidade por apresentar uma elevada dureza dos carbonetos de cromo.

Figura 26 - Rolo finalizado



Fonte: Autor

4.3 Particularidades do material

- Não têm soldabilidade.
- Não têm usinabilidade.
- Maçarico não têm poder de corte sobre ele.
- Apresenta-se trincas ao longo do cordão, para fins de alívio de tensão.

5 RESULTADO E DISCUSSÕES

5.1 Ensaio de Dureza Rockwell

Também com auxílio da empresa, que gentilmente nos cedeu informações de certificados de qualidade e de características e propriedades dos materiais. Foi realizado ensaio de dureza no metal revestido, para comprovar e atestar a dureza do material de revestimento (Figura 27 e 28).

O ensaio escolhido para representação foi o de dureza Rockwell, a seguir parâmetros do teste:

- Ensaio: Rockwell
- Escala: C
- Penetrador: Diamante, cone 120º
- Pré-carga: 10kgf
- Carga aplicada: 150 kgf
- Durômetro: Bancada para dureza HRC da Wilson Instruments
- Resultado: 65 HRC

Figura 27 - Escala de dureza rockell e aplicações

ESCALA DE DUREZA ROCKWELL NORMAL E APLICAÇÕES					
ESCALA	COR DA ESCALA	CARGA MAIOR	PENETRADOR	FAIXA DE UTILIZAÇÃO	CAMPO DE APLICAÇÃO
A	preta	60	diamante cone 120°	20 a 88 HRA	Carbonetos, folhas de aço com fina camada superficial endurecida
C	preta	150	diamante cone 120°	20 a 70 HRC	Aço, titânio, aços com camada endurecida profunda, materiais com HRB>100
D	preta	100	diamante cone 120°	40 a 77 HRD	Chapas finas de aço com média camada endurecida
B	vermelha	100	esfera aço 1,5875 mm	20 a 100 HRB	Ligas de cobre, aços brandos, ligas de alumínio, ferro maleável etc.
E	vermelha	100	esfera aço 3,175 mm	70 a 100 HRE	Ferro fundido, ligas de alumínio e de magnésio
F	vermelha	60	esfera aço 1,5875 mm	60 a 100 HRF	Ligas de cobre recozidas, folhas finas de metais moles
G	vermelha	150	esfera aço 1,5875 mm	30 a 94 HRC	Ferro maleável, ligas de cobre-níquel-zinco e de cobre-níquel
H	vermelha	60	esfera aço 3,175 mm	80 a 100 HRH	Alumínio, zinco, chumbo
K	vermelha	150	esfera aço 3,175 mm	40 a 100 HRK	Metais de manuais e outros muito moles ou finos

ESCALA DE DUREZA ROCKWELL SUPERFICIAL E APLICAÇÕES					
ESCALA	COR DA ESCALA	CARGA MAIOR	PENETRADOR	FAIXA DE UTILIZAÇÃO	CAMPO DE APLICAÇÃO
15 N	preta	15	diamante cone 120°	65 a 90 HR 15N	Uso em aplicações similares às escalas HRC, HRA, HRD
30 N	preta	30	diamante	40 a 80 HR 30N	Uso em aplicações similares às escalas HRC, HRA, HRD
45 N	preta	45	diamante	35 a 70 HR 45N	Uso em aplicações similares às escalas HRC, HRA, HRD
15 T	vermelha	15	esfera aço 1,5875 mm	50 a 94 HR 15T	Uso em aplicações similares às escalas HRB, HRF, HRG
30 T	vermelha	30	esfera aço 1,5875 mm	10 a 84 HR 30T	Uso em aplicações similares às escalas HRB, HRF, HRG
45 T	vermelha	45	esfera aço 1,5875 mm	10 a 75 HR 45T	Uso em aplicações similares às escalas HRB, HRF, HRG

Fonte: Pegar da net

Figura 28 – Durômetro de bancada Rockwell



Fonte: Autor

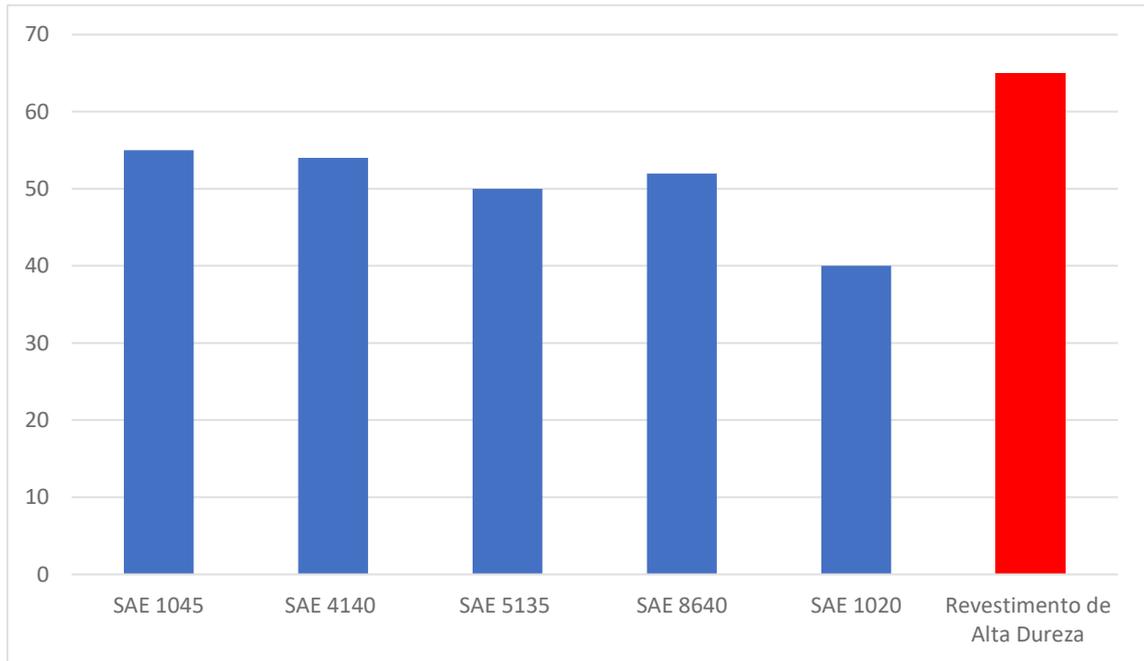
5.2 Gráfico

Abaixo elaboramos um gráfico com a finalidade de demonstração da dureza do material, tendo como base aços comerciais e amplamente utilizado no ramo industrial.

Valores de dureza encontrados nos catálogos de fornecimento da Gerdau.

- SAE 1045 - 55HRC
- SAE 4140 - 54HRC
- SAE 5135 - 50HRC
- SAE 8640- 52HRC
- SAE 1020- 40 HRC
- Revestimento de Alta Dureza - 65 HRC

Lembrando que todos os outros aços encontram-se nesta dureza após o tratamento térmico de têmpera (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Valores de dureza

Fonte: Autor

6 CONCLUSÃO

Para a execução deste trabalho, foi usado como estudo de caso o processo de revestimento de material de alta dureza através do processo de soldagem FCAW (Arame Tubular) em materiais que necessitam resistir aos desgastes.

O revestimento de alta dureza tem como composição principal os carbonetos de cromo que são aplicados por meio da soldagem no material de base desejado, podendo ser desde uma chapa de SAE 1020 até de componentes de moagem compostos por aços forjados de diversas composições. Esses elementos se desgastam com a execução dos serviços, assim sendo preciso uma manutenção dos mesmos, onde na maioria dos casos se torna mais vantajoso a recuperação dos rolos através deste processo ao invés da substituição dos equipamentos. As chapas igualmente revestidas também empregam finalidades parecidas, podendo atribuir várias formas e aplicações sempre visando aumentar a vida útil dos equipamentos que sofrem trabalhos de abrasão e desgastes.

Junto ao acompanhamento do processo de fabricação destas chapas revestidas, foram realizados testes para comprovação de composição química do arame tubular e ensaio de dureza (Rockwell) para fins de atestar a dureza do metal já soldado. Juntos destes resultados de dureza foi elaborado um gráfico para se ter um meio comparativo, dentre o material revestido que foi feito o corpo de prova e matérias mais conhecidos comercialmente.

Outro ponto a se destacar na escolha do tema, foi que se trata de um assunto pouco divulgado na literatura de soldagem e que é de imensa utilidade em empresas de diversos ramos de industrialização, como: produtoras de cimentos, mineradoras, siderúrgicas, celulose e papel entre outras que se trabalham com grandes abrasões.

REFERÊNCIAS

VEIGA, EMILIO. **Processo de soldagem MIG/MAG**. 2. ed. São Paulo: Glodus Editora, 2011. 153p.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. **Soldagem processo e metalurgia**. 8. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2000. 494p.

FIGUEIRA, H. V. O.; ALMEIDA S. L. M.; LUZ, A. B. **Cominação**; In: Tratamento de Minérios. Rio de Janeiro. Centro de Tecnologia Mineral, 2004; Capítulo quatro.

FLS-SMIDTH. **Moinho Vertical de Rolos OK**. Catálogo, FLS-Smidth – Disponível em <www.flsmidth.com>. Acessado em 21 de dezembro de 2011.

BERALDO, J. L. **Moagem de minérios em moinhos tubulares**. Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1987.

WELERSON, R. A. **A Ocorrência do “Finger”**. UFMG, fevereiro de 2004

FURLAN. **Divisão de Equipamentos/Moinhos**. Limeira - Disponível em <<http://www.furlan.com.br>>. Acessado em 12 de outubro de 2010

MONTEIRO, M. P.; CUNHA, J. A. R. **Tecnologia de Arames Tubulares com Proteção Gasosa para Revestimento Anti-Desgaste para Aplicações em Usinas Sucroalcoleiras e Mineradoras**. ABS, XIX Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, p. 195-210, outubro 1993.