



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA

MANUTENÇÃO DE METAL LADLES

Discente:

Micavo Jr, Feliciano Armando

Supervisor:

Engº. Roberto David

Maputo, Setembro de 2022

MANUTENÇÃO DE METAL LADLES



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA MECÂNICA

MANUTENÇÃO DE METAL LADLES

Discente:

Micavo Jr, Feliciano Armando

Supervisor:

Engº. Roberto David

Maputo, Setembro de 2022

MANUTENÇÃO DE METAL LADLES – MICAVO JR, FELICIANO ARMANDO



ÍNDICE DE CONTEÚDOS

AGRADECIMENTOS	6
DECLARAÇÃO DE HONRA.....	7
ÍNDICE DE TABELAS.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
LISTA DE ABREVIATURAS UTILIZADAS	10
RESUMO.....	11
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO	12
1.1. Introdução	12
1.2. Problema	18
1.3. Objectivo geral	18
1.4. Objectivo específico.....	18
1.5. Hipóteses/Proposições.....	18
1.6. Perguntas de investigação	18
CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA	20
2.1. Conceitos básicos	20
2.1.1. Ânodos de carbono	20
2.1.2. Corrente eléctrica.....	22
2.1.3. Alumina (Al_2O_3).....	22
2.2.Estrutura do ladle	24
1. Lifting Point.....	26
2. GUSSET	27
3. Hooking Point.....	28
4. Abertura para o Spout.....	29
CAPÍTULO 3: CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO	31

3.1. Ciclo de funcionamento de um metal ladle.....	33
CAPÍTULO 4: METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA	34
1. Deformação dos gussets.....	34
2. Fissuras/Trincas	35
3. Redução da espessura da chapa do corpo cilíndrico	38
4.1. Plano de Manutenção dos metal ladles	39
CAPÍTULO 5: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	43
5.1. Apresentação e análise dos resultados	43
5.2. Discussão dos resultados	45
CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	46
6.1. Conclusões	46
6.2. Recomendações	46
BIBLIOGRAFIA	47

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à Universidade pela oportunidade de fazer o curso, desde 2018 que a batalha iniciou e tem sido uma experiência que palavras não podem descrever.

Gostaria de expressar a minha apreciação e agradecimento ao meu orientador/supervisor, Eng. Roberto David, pelo apoio, confiança e empenho dedicado à elaboração deste trabalho. Gostaria também de agradecer por incentivar minha pesquisa e por permitir que eu crescesse como pesquisador científico.

Quero agradecer aos meus amigos da faculdade e de fora, com quem vivi vários acontecimentos, passei por várias experiências, boas e más, mas sempre juntos atravessamos situações interessantes.

Um agradecimento especial à minha família. Palavras não podem expressar o quanto sou grato à minha mãe, meu pai e aos meus irmãos por todos os sacrifícios que você fizeram e ainda fazem em meu nome e espero poder retribuir o mais cedo possível.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Feliciano Armando Micavo Júnior declaro por minha honra que o presente Projecto Final do Curso é exclusivamente de minha autoria, não constituindo cópia de nenhum trabalho realizado anteriormente e as fontes usadas para a realização do trabalho encontram-se referidas na bibliografia.

Assinatura: _____

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4. 1: Modelo da tabela do registo do Manutenção dos Metal Ladles	40
Tabela 4. 2: Exemplo de preenchimento de uma tabela de Registo da Manutenção de Metal Ladles.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Ilustração de um metal ladle na posição de depósito do metal no forno	13
Figura 1. 2: Transporte do metal ladle	14
Figura 1. 3: Corte transversal de um Pote	15
Figura 1. 4: Modelo icónico de um pote de alumínio	16
Figura 1. 5: Processo de sucção do alumínio líquido	16
Figura 1. 6: Processo de metal tapping	17
Figura 2. 1: Ânodos de carbono pré-cozidos	21
Figura 2. 2: Processo de recolha da bauxite	23
Figura 2. 3: Camião de transporte da alumina	23
Figura 2. 4: Chegada do metal ladle e do alumínio fundido no forno da Cast House	24
Figura 2. 5: Demonstração da distribuição de calor em um metal ladle	25
Figura 2. 6: Representação de um metal ladle	25
Figura 2. 7: Representação de um lifting point	26
Figura 2. 8: Demonstração do uso do lifting point	27
Figura 2. 9: Representação de um gusset	27
Figura 2. 10: Função do Gusset no Stand do ladle	28
Figura 2. 11: Representação de um hooking point	28
Figura 2. 12: Demonstração do uso do hooking point	29
Figura 2. 13: Representação de uma abertura para spout	29
Figura 2. 14: Ilustração do Spout fixo no metal ladle	30
Figura 2. 15: Ilustração da abertura para SPOUT	30
Figura 3. 1: Gusset deformado (à esquerda) e Gusset não deformado (à direita).32	
Figura 3. 2: Vazamento de alumínio pela base do metal ladle	32
Figura 4. 1: Aquecimento com maçarico e reposicionamento com martelo	34
Figura 4. 2: Modelo icónico de um macaco hidráulico industrial	35
Figura 4. 3: Representação do chanfro para a chapa de 16 mm	35
Figura 4. 4: Marcação para reparação localizada	36
Figura 4. 5: Corte da chapa na área afectada	36
Figura 4. 6: Presença de alumínio por baixo da chapa, danificando o perfil	37
Figura 4. 7: Colocação dos novos perfis	37
Figura 4. 8: Colocação da nova chapa	37
Figura 4. 9: Processo de substituição da chapa frontal	38
Figura 4. 10: Sistema de classificação da Manutenção	39
Figura 4. 11: Codificação em números dos metal ladles	42
Figura 5. 1: Exemplo de um gusset apto a ser usado	43
Figura 5. 2: Instrumento de medição combination square	43
Figura 5. 3: Instrumento de medição nível de bolha	43
Figura 5. 4: Chapa frontal substituída	44
Figura 5. 5: Teste de soldadura do tipo magnético	44

LISTA DE ABREVIATURAS UTILIZADAS

- MOZAL – Mozambique Aluminium;
- PTA – Pot Tending Assembly;
- MLLB –Metal Ladle Lifting Bin;
- LCM – Ladle Cleaning Machine.

RESUMO

Os Departamentos de Reduction e da Cast House da MOZAL são separados, mas muito ligados (conectados), em constante troca de informação. O alumínio líquido sai da Reduction para a Cast House por meio de várias estruturas, tendo como a principal, os metal ladles, ou apenas ladles, (panelas, na gíria). Este ladle é fundamental para um bom funcionamento de toda MOZAL e garantindo que este se encontra em óptimo estado, garante-se que o alumínio é transportado em segurança, sem impurezas, sem vazamentos (sem perda de material) e de forma eficiente.

Se este recipiente apresentar alguma deficiência em alguma parte da sua constituição, pode condicionar o transporte do alumínio, e assim sendo, ter impactos negativos no resto do processo produtivo da MOZAL.

O estudo foi feito com base nos metal ladles deficientes presentes na oficina, usados como amostra para determinar os desgastes recorrentes e os possíveis desgastes.

O resultado do estudo mostrou ser possível aumentar o ciclo de vida dos ladles de modo a estes ficarem mais tempo antes de ser necessário levá-lo de novo à manutenção.

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1.Introdução

O alumínio é muito raro na forma natural, e o processo para refiná-lo a partir de minérios é complexo, portanto, durante a maior parte da história humana, era desconhecido. A descoberta deste metal foi anunciada em 1825 pelo físico dinamarquês **Hans Christian Ørsted**, cujo trabalho foi ampliado pelo químico alemão **Friedrich Wöhler**.

O alumínio tornou-se muito mais disponível ao público com o **processo Hall-Héroult** (reduzir a alumina por electrólise fundida em células electrolíticas também denominadas de Potes) desenvolvido de forma independente pelo engenheiro francês Paul Héroult e pelo engenheiro estadunidense Charles Martin Hall, em 1886, e o **processo Bayer** (processo pelo qual o minério de bauxite é tratado para produzir alumina), desenvolvido pelo químico austríaco Carl Josef Bayer em 1889. Estes processos são utilizados até hoje.

O alumínio faz parte dos **metais não ferrosos (metais leves)** onde se destacam também o cobre, o titânio, o magnésio e o níquel.

As propriedades físico-químicas do alumínio permitem que ele tenha uma diversa gama de aplicações. O alumínio é largamente aplicado na produção de ligas para diversos fins, como fabrico de carrocerias e peças internas para automóveis, na construção de aviões, na construção civil como revestimento de telhas, caixilharia e em muitos detalhes de concepções arquitectónicas modernas. Devido à sua boa condutividade eléctrica, é também usado para fabrico de cabos eléctricos.

Seria trabalho em vão a fundição do alumínio sem a estrutura para o transportar para a fase seguinte do processo e é neste ponto que os ladles aparecem.

Historicamente, os ladles têm sido usados desde que se deu início à actividade de fundição dos metais, tendo como enfoque o alumínio para o presente trabalho.

O ladle usado na MOZAL é um tipo de concha metalúrgica, frequentemente usadas em fábricas de fundição e variam em tamanho, desde pequenas embarcações transportadas à mão que se assemelham a uma concha de cozinha e suportam 20 kg, até grandes conchas de siderurgia que suportam até 300 toneladas. Os metal ladles aqui abordados suportam cerca de 11 toneladas de alumínio fundido.



Figura 1. 1: Ilustração de um metal ladle na posição de depósito do metal no forno

O termo ladle é, na maioria das vezes, acompanhado de um prefixo usado para definir o propósito real do ladle. Existem três prefixos principais:

- **Casting ladle** (Concha/Panela de Fundição): usada para derramar metal fundido em moldes para produzir as peças fundidas. É o tipo usado na MOZAL, no departamento da Cast House, tendo assim essa semelhança no nome.
- **Transfer ladle** (Concha/Panela de Transferência): usada para transferir uma grande quantidade de metal fundido de um processo para outro, como por exemplo para retirar de um forno primário para um forno de espera.

- **Treatment ladle** (Concha/Panela de Tratamento): utilizada para que ocorra um processo dentro da concha para alterar algum aspecto do metal fundido, como por exemplo adição de elementos de liga em um metal base dentro da concha.

Os ladles quase sempre são equipados de revestimento refractário, pois se o metal fundido entra em contacto com as chapas do ladle, este pode facilmente derretê-las e provocar vazamento, inutilizando assim o ladle; estes apenas não precisam de revestimento refractário quando as ligas a serem fundidas possuem um ponto de fusão muito baixo.

O uso de material refractário também ajuda a evitar o contacto entre os metais, evitando-se assim contaminar o material fundido.

Para o caso do metal ladle objecto de estudo, o material usado para na sua estrutura é aço médio, que é o mais usado para receber alumínio fundido.

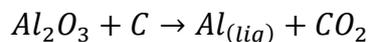
Sendo que os metal ladles não possuem nenhuma estrutura para o seu movimento (e também pelas suas dimensões e distâncias a percorrer), a movimentação dos destes é feita a partir do **transfer ladle car**. No caso da MOZAL, o ladle é movido por um camião da **HENCON**, onde o ladle é trazido da Cast House vazio para a Reduction para o processo de sucção do alumínio.



Figura 1. 2: Transporte do metal ladle

Na MOZAL, o sector da Reduction é onde se produz o alumínio, dentro dos Potes pelo processo de electrólise.

A reacção de electrólise dentro do Pote é:



Onde:

Al_2O_3 : Alumina (Óxido de alumínio);

C : Carbono (Ânodos perfilados e nivelados no Pote);

$Al_{(liq)}$: Alumínio fundido (Alumínio no estado líquido);

Na reacção acima tem-se também a intervenção de dois outros factores que são:

Banho: Solução electrolítica; e

Corrente: $I = 374 \text{ kA}$.

Esta reacção ocorre a uma temperatura de $T = 960 \text{ }^\circ\text{C}$.

Equação acertada:

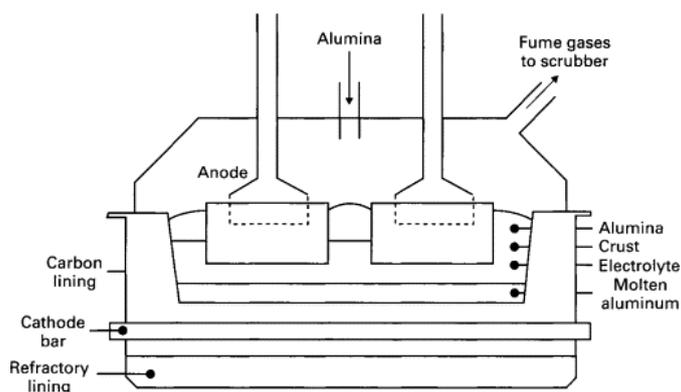
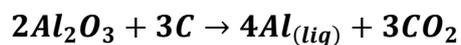


Figura 1. 3: Corte transversal de um Pote



Figura 1. 4: Modelo icónico de um pote de alumínio

O alumínio, depois de produzido no Pote é extraído por sucção para o ladle.

O ladle é o recipiente cilíndrico usado para recolher/colectar o alumínio líquido produzido no Pote. O ladle é movido pelo **PTA (Pot Tending Assembly)**.

A operação de remoção do alumínio fundido no Pote é realizada por sucção do alumínio fundido através de um tubo denominado de **Tapping tube** submerso no metal fundido, para o Ladle.



Figura 1. 5: Processo de sucção do alumínio líquido

A sucção do metal é realizada quando o tapping tube é introduzido na célula através do buraco (aberto na porta da célula) até tocar o metal e fazer-se passar o ar comprimido pelo orifício do injector (na tampa do ladle) que cria um vácuo com uma pressão P_1 no interior do ladle conforme ilustrado na figura abaixo. Se a pressão criada for inferior à pressão atmosférica (P_a), o alumínio é sugado fluindo através do tapping tube por razões de diferença de pressões ($P_a > P_1$) para o ladle.

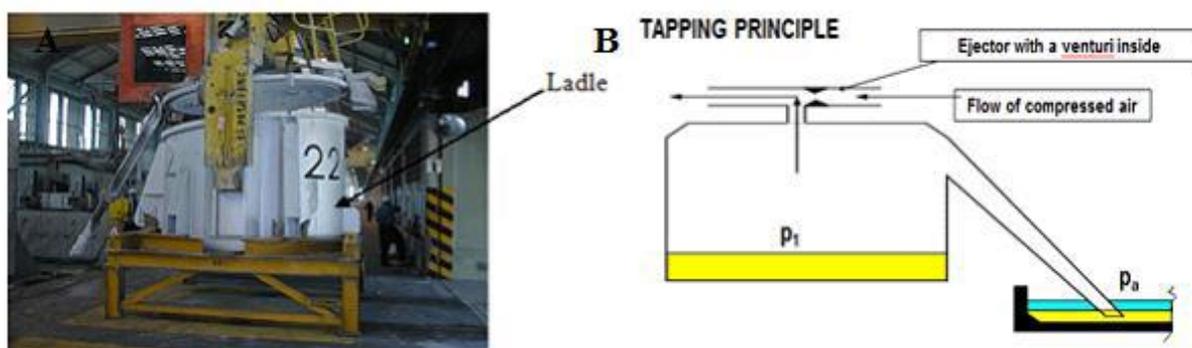


Figura 1. 6: Processo de metal tapping

Para garantir boa eficiência da operação, a velocidade do ar é aumentada no orifício do injector favorecendo a redução da pressão no sistema para abaixo da pressão atmosférica. É também necessário verificar se o fluxo de ar pelo injector é suficiente e se não existem fugas de ar.

A operação de *metal tapping* é planejada por coordenação de três departamentos. O Departamento de redução que através da sua equipe recolhe dados da produção em cada Pote através da medição do nível do metal nas células electrolíticas e fornece amostras do metal ao laboratório para análise de ferro e silício (impurezas). Através dos dados obtidos nas análises laboratoriais e do nível do metal, a Cast House planifica a sequência que a operação deve seguir, isto é, a sequência do *metal tapping* depende da qualidade e quantidade do metal produzido nas células.

1.2.Problema

Nos últimos meses, a oficina da OUTOTEC tem recebido vários metal ladles, o que é muito bom sob o ponto de vista financeiro, mas preocupante para a MOZAL relativamente a influência destes na produtividade.

A frequência de ida dos ladles à oficina deve ser reduzida, estudando e resolvendo os principais problemas.

1.3.Objectivo geral

- Estudar os metal ladles, seus ciclos e desgastes.

1.4.Objectivos específico

- Elaborar um plano de manutenção dos metal ladles;
- Determinar o tempo de vida útil do metal ladle;

1.5.Hipóteses/Proposições

1. Os metal ladles têm sido mal manuseados pelos operários da MOZAL;
2. O aumento da espessura das chapas pode melhorar a resistência da estrutura;
3. O tratamento térmico do aço para resistir melhor as altas temperaturas pode estender o tempo de vida dos ladles;
4. O desgaste pode ser acelerado devido ao ambiente de trabalho.

1.6.Perguntas de investigação

1. Qual é o ciclo de vida dos metal ladles?
2. Qual é a causa do desgaste do metal ladle?
3. Qual é a principal causa de avaria do metal ladle?

1.7. Metodologia

A realização do presente trabalho teve como recurso as seguintes componentes:

1. Pesquisa bibliográfica

Esta consistiu na recolha de informação sobre o modo geral de funcionamento da MOZAL, a produção primária do alumínio e o papel dos metal ladles na linha de produção.

Foi também usada a consulta de manuais, consulta do supervisor, trabalhos de licenciatura passados e a internet.

2. Parte Prática

A oficina da OUTOTEC possui vários metal ladles por reparar e estes serviram como amostra para o universo dos metal ladles existentes, cada um com a sua avaria/deficiência.

Estas serviram para obter o contacto directo com o material, estudo da estrutura do metal ladle e como esta pode ser melhorada.

CAPÍTULO 2: REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Conceitos básicos

É necessário certas definições para prosseguir com a leitura do trabalho, sendo todos relacionados com o processo produtivo da MOZAL:

- **Departamentos da MOZAL:**
 - **Carbon:** onde se produzem os ânodos para a reacção electrolítica, no Pote;
 - **Reduction:** onde se produz o alumínio fundido (líquido), no Pote;
 - **Cast House:** onde se mistura o alumínio (de acordo com os níveis de pureza) e se coloca nos moldes, obtendo-se os lingotes.
 - **Pote:** célula electrolítica na qual ocorre o processo de redução de alumina em alumínio primário.
 - **Metal ladle:** recipiente cilíndrico usado para recolher/colectar o alumínio líquido no Pote.
 - **Metal Ladle Lifting Bin (MLLB):** tampa complexa e elaborada que se coloca na extremidade aberta do metal ladle para recolher o alumínio do pote.

As matérias-primas e insumos necessários à produção do alumínio são a alumina, a electricidade, os ânodos de carbono produzidos na base de **coque de petróleo** e **alcatrão de carvão, banho electrolítico e produtos fluoretados.**

2.1.1. Ânodos de carbono

A MOZAL usa ânodos pré-cozidos e dispõe de instalações completas para a sua fabricação. As células de ânodos pré-cozidos utilizam vários ânodos cozidos em uma unidade fabril com fornos especialmente desenvolvidos para este processo.

Durante o processo de redução, os ânodos cozidos são consumidos com liberação de dióxido de carbono, entretanto devem ser regularmente removidos obedecendo a certos intervalos (20 a 21 dias).

As matérias-primas para a sua produção são o **coque de petróleo** e **alcatrão de carvão**.

O **coque de petróleo** é obtido pela calcinação do coque verde originado nas refinarias de petróleo. O fornecimento do coque à MOZAL é feito pelas indústrias americanas REYNOLDS e CII. Cerca de 185 mil toneladas de coque de petróleo são usadas por ano para produção de ânodos.

O **alcatrão** é um produto obtido através da destilação a vácuo do carvão mineral. É utilizado na fabricação de ânodos como aglomerante de partículas de coque. É fornecido à MOZAL na forma líquida pela SUPRACHEM da África do Sul. Cerca de 44 mil toneladas de alcatrão são fornecidas por ano.



Figura 2. 1: Ânodos de carbono pré-cozidos

2.1.2. Corrente eléctrica

A corrente eléctrica é indispensável para o processo de electrólise. A MOZAL possui uma subestação que transforma a corrente alternada em corrente continua de aproximadamente 1240V.

Funções da corrente eléctrica:

- Manter a temperatura do banho ao redor de 960 °C;
- Promover a reacção de redução da alumina em alumínio líquido.

2.1.3. Alumina (Al_2O_3)

Esta é a principal matéria-prima para a produção do alumínio, obtida através do minério **bauxite** ($Al_2O_3 - nH_2O$), minério muito abundante no mundo e contém como impurezas o ferro (**Fe**), o silício (**Si**) e o titânio (**Ti**).

A alumina é fornecida à MOZAL pela empresa australiana WORSLEY, por via marítima. Estima-se que 1 milhão de toneladas são fornecidas por ano.



Figura 2. 2: Processo de recolha da bauxite



Figura 2. 3: Camião de transporte da alumina

A ligação entre os departamentos de Reduction e da Cast House é feita pelos metal ladles. Cada Pote tem o seu próprio metal ladle para recolher o alumínio, assim evita-se misturas de alumínio fundido de diferentes níveis de pureza (os potes, dependendo de vários factores como o banho electrolítico, corrente eléctrica, não produzem alumínio do mesmo nível de pureza).

É na Cast house que de seguida se separa, de acordo com os níveis de pureza, o alumínio fundido e depois é colocado em moldes para depois seguirem para a expedição.

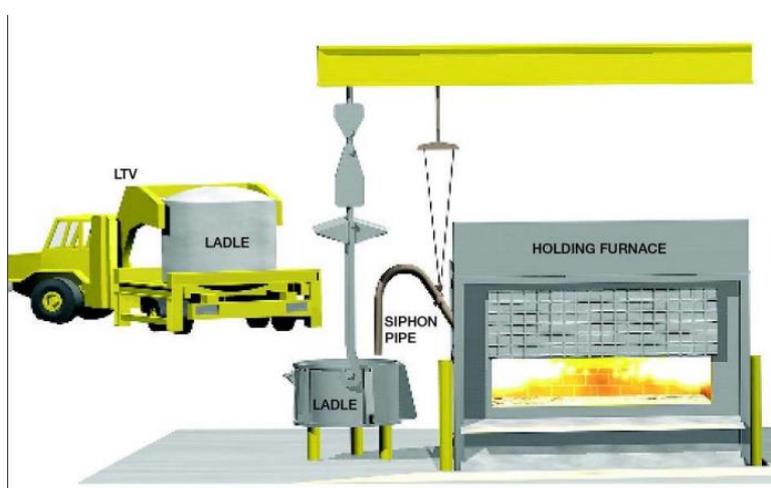


Figura 2. 4: Chegada do metal ladle e do alumínio fundido no forno da Cast House

2.2.Estrutura do ladle

Sendo este o objecto de estudo do presente trabalho, deve-se conhecer perfeitamente a sua estrutura para assim poder-se realizar a manutenção adequada de acordo com as condições presentes no metal ladle.

A estrutura deve ser rígida o suficiente para permitir o transporte do alumínio fundido de forma segura, resistente a vários ciclos de carregamento e garantir o transporte com eficiência.

O material base de construção do metal ladle é o aço médio, que demonstra ter capacidade de trabalho num ambiente de calor intenso.

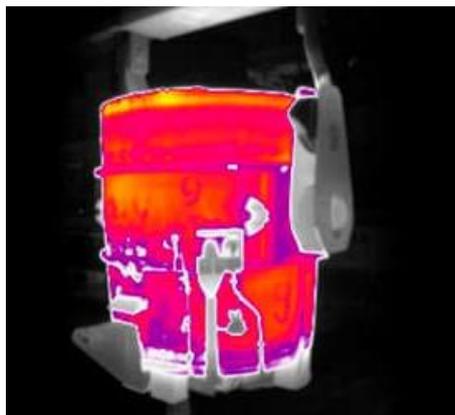


Figura 2. 5: Demonstração da distribuição de calor em um metal ladle

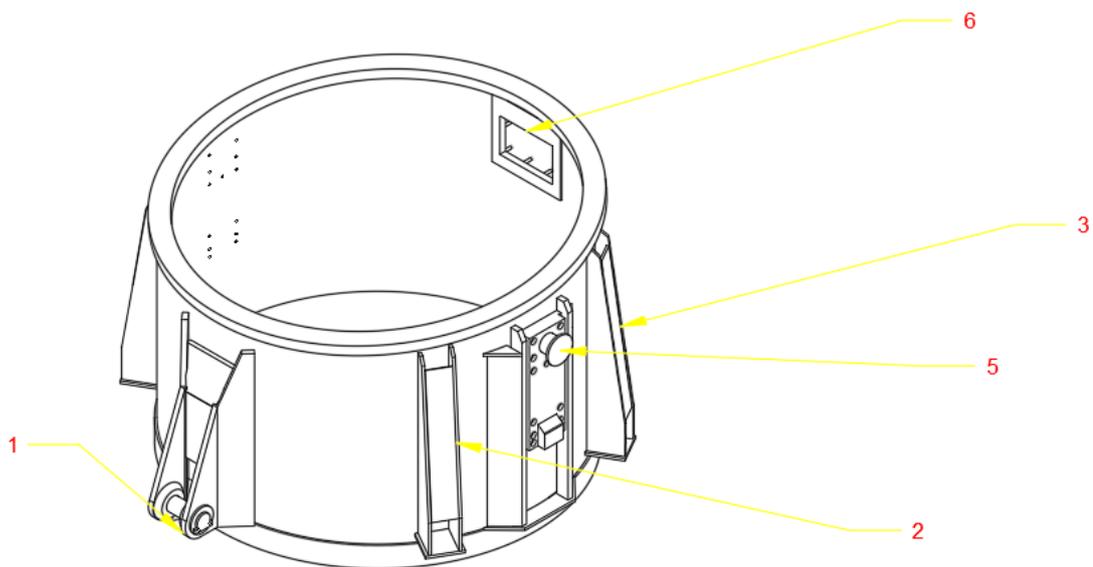


Figura 2. 6: Representação de um metal ladle

O metal ladle é constituído por:

- Lifting Point (item 1);
- GUSSET (item 2 e item 3);
- Corpo cilíndrico (chapas de aço, item 4);
- Abertura para o Spout (item 6); e
- Hooking Point (item 5).

Os componentes acima apresentados são os principais, pois o metal ladle também possui, como por exemplo, o ring (na sua parte superior) e as pegas ao lado da abertura do spout. Estas são secundárias e não serão abordadas no presente trabalho.

1. Lifting Point

É a estrutura por onde o PTA segura e faz a rotação de modo a inclinar o metal ladle para o metal líquido ser depositado num dos fornos apropriados da Cast House.



Figura 2. 7: Representação de um lifting point



Figura 2. 8: Demonstração do uso do lifting point

2. GUSSET

Estas estruturas servem para o metal ladle ficar colocado e apoiado no **stand do ladle**, pois este não fica directamente no chão, facilitando assim a movimentação dos mesmos por parte dos camiões que transportam os metal ladles da Cast House para Reduction e vice-versa.



Figura 2. 9: Representação de um gusset



Figura 2. 10: Função do Gusset no Stand do ladle

3. Hooking Point

Local por onde os ganchos do MLLB seguram o metal ladle com o objectivo de colectar o alumínio líquido de dentro do Pote.

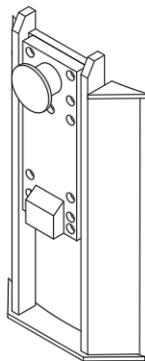


Figura 2. 11: Representação de um hooking point

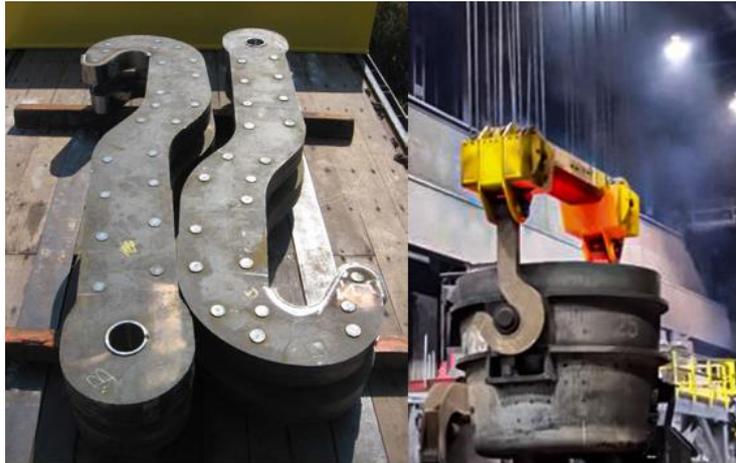


Figura 2. 12: Demonstração do uso do hooking point

4. Abertura para o Spout

É o orifício por onde se retira o alumínio líquido para os fornos da Cast House.

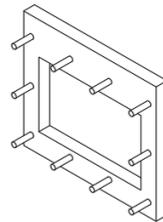


Figura 2. 13: Representação de uma abertura para spout

Na abertura para o spout fixa-se o spout, para o processo de retirada do alumínio líquido do metal ladle para os fornos da Cast House.



Figura 2. 14: Ilustração do Spout fixo no metal ladle



Figura 2. 15: Ilustração da abertura para SPOUT

CAPÍTULO 3: CONTEXTUALIZAÇÃO DA INVESTIGAÇÃO

A investigação surge quando se verificou que existe um número elevado de metal ladles na oficina cada um com a sua deficiência, sendo assim uma situação crítica e preocupante.

O estudo dos ladles foi mais documental do que experimental. Para determinar as deficiências mais frequentes dos metal ladles foi usado o processo de indução, isto é, a amostra de metal ladles que existem na oficina serviram para sair do caso particular para o caso geral.

Os defeitos e avarias mecânicas comuns nos metal ladles são:

- Deformação dos gussets;
- Fissuras/Trincas;
- Redução da espessura da chapa do corpo cilíndrico.

Há partes do metal ladle, como os hooking points e o lifting point, que não precisam de serem dadas atenção no processo de manutenção, pois estas partes são as que mais tempo levam para sofrerem danos (que também são insignificantes), os esforços aos quais estão submetidos são mínimos e não sofrem muito com o calor, diferente das chapas do metal ladle.

Pode se usar como meio de comparação uma panela de cozinha doméstica: as pegas quase não sofrem danos ao longo do tempo enquanto que a chapa sofre muitos danos, e é aqui onde se precisa tomar mais atenção.

I. Deformação dos gussets

Esta deficiência surge devido as pancadas que os gussets vão sofrendo ao longo do seu uso. Durante o movimento do metal ladle, seu pouso no stand e o seu carregamento, as manobras devem ser suaves para evitar situações de colisão com outros equipamentos e estruturas na oficina.



Figura 3. 1: Gusset deformado (à esquerda) e Gusset não deformado (à direita)

II. Fissuras/Trincas

Estas surgem maioritariamente na base do metal ladle e estas são muito graves, inviabilizam o uso do metal ladle, pois provocam vazamento de alumínio líquido.



Figura 3. 2: Vazamento de alumínio pela base do metal ladle

III. Redução da espessura da chapa do corpo cilíndrico

As chapas do cilindro sofrem com o calor intenso proveniente do alumínio líquido que é retirado do pote. Com o passar do tempo a espessura das chapas,

principalmente a da parte frontal, diminui de espessura. A espessura inicial da chapa é de 10 mm.

3.1. Ciclo de funcionamento de um metal ladle

O metal ladle, tal como a maioria das estruturas metálicas, tem o seu determinado tempo de uso nas condições aptas para a realização do trabalho de forma segura e eficiente, o chamado ciclo de funcionamento, após o qual é necessário verificar a integridade do mesmo.

De acordo com informações obtidas pelos trabalhadores da MOZAL, um metal ladle tem que dar 2000 voltas no total, 12 voltas por dia (uma volta é equivalente a sair da Cast House vazio para a Reduction e voltar à Cast House preenchido de alumínio líquido) para ser necessária a verificação pela parte da equipa de manutenção.

Cálculo do tempo necessário para a manutenção:

Assumindo que a fábrica esteja a produzir de forma sustentável e sem crises, garantindo assim as 12 voltas por dia:

$$\textit{Período de manutenção} = \frac{\textit{Número de voltas total}}{\textit{Número de voltas por dia}} = \frac{2000}{12}$$

$$\textit{Período de manutenção} = \frac{2000}{12} = 5 \textit{ meses e 15 dias}$$

O valor acima representa o tempo estimado para a chegada do momento de manutenção de um metal ladle.

O tempo que o metal ladle fica na oficina varia de uma a duas semanas, no máximo, dependendo do tipo de deficiência mecânica.

CAPÍTULO 4: METODOLOGIA DE RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

1. Deformação dos gussets

Esta deficiência não é grave, o metal ladle ainda pode ser colocado no stand e transportado, mas agora com folgas nos suportes, o que diminui a segurança no transporte do metal ladle, principalmente quando está preenchido de alumínio líquido. Até ao momento de manutenção, o metal ladle deve ser isolado e não utilizado, mas se houver uma emergência devido a falta dos mesmos, este deve ser usado com muito cuidado e a velocidades mais baixas em relação às usadas quando este está em perfeitas condições.

Estas folgas provocam maior balanço do metal ladle devido ao movimento e no pior dos casos este pode se desequilibrar, sair do stand e cair no chão, levando consigo todo alumínio, que estando a altas temperaturas, pode causar acidentes materiais e humanos irreversíveis.

A resolução deste problema é feita recorrendo ao uso de aquecimento por maçarico na chapa, facilitando o trabalho nela, e depois o uso de um martelo para recolocar a chapa na posição correcta.

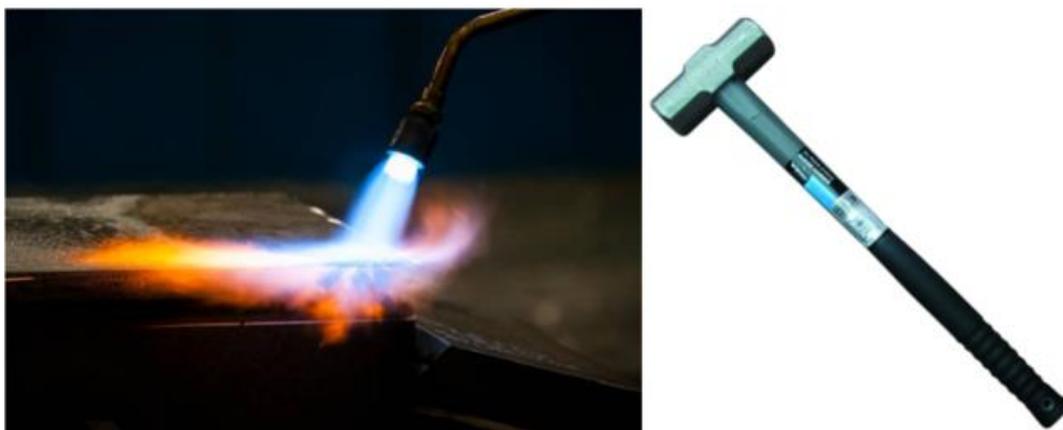


Figura 4. 1: Aquecimento com maçarico e reposicionamento com martelo

Pode se usar também um macaco hidráulico industrial para deformações de menores proporções, isto é, deformações localizadas:



Figura 4. 2: Modelo icónico de um macaco hidráulico industrial

2. Fissuras/Trincas

A resolução destes defeitos requer a atenção imediata, pois estando o alumínio líquido dentro do metal ladle, uma fissura (que é uma trinca de menores proporções) vai possibilitar o vazamento do alumínio. O vazamento pode não ser imediato, pois leva tempo para a fissura passar ao estágio de trinca, mas nestes casos, quanto mais cedo se resolver, melhor.

O alumínio líquido a altas temperaturas derrete a chapa na base e também o perfil por baixo da chapa. Esta chapa da base tem, de espessura, 16 mm, e como a base tem um diâmetro interno de $\varnothing 2770$ mm, sugere-se que se faça uma manutenção local e não a substituição de toda a chapa, por motivos económicos.

Sendo a chapa de 16 mm, é indispensável que esta leve chanfros para a soldadura posterior. O tipo de chanfro escolhido é do tipo V.



Figura 4. 3: Representação do chanfro para a chapa de 16 mm



Figura 4. 4: Marcação para reparação localizada



Figura 4. 5: Corte da chapa na área afectada



Figura 4. 6: Presença de alumínio por baixo da chapa, danificando o perfil



Figura 4. 7: Colocação dos novos perfis



Figura 4. 8: Colocação da nova chapa

3. Redução da espessura da chapa do corpo cilíndrico

Com o passar do tempo, a espessura da chapa diminui, tal como o material refractário. A chapa deve ter 10mm de espessura que vai diminuindo até chegar ao mínimo admissível que é de 7 mm. Ao atingir este valor, a chapa deve ser substituída.



Figura 4. 9: Processo de substituição da chapa frontal

4.1. Plano de Manutenção dos metal ladles

A Manutenção dos metal ladles é uma componente indispensável para o bom funcionamento da fábrica da MOZAL, é necessário mantê-los sempre disponíveis nas melhores condições possíveis para a execução das actividades produtivas com eficiência.

A Manutenção divide-se em dois grupos: a planificada e a não planificada. O gráfico abaixo demonstra a sua divisão e os seus respectivos tipos de manutenção.

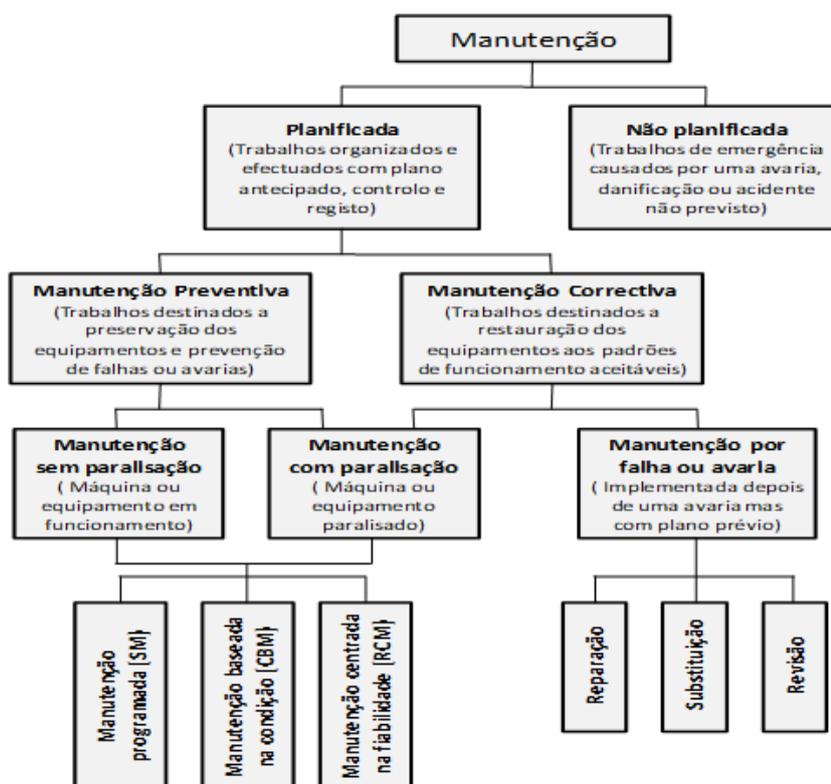


Figura 4. 10: Sistema de classificação da Manutenção

Depois de analisar as vantagens e desvantagens de cada tipo de Manutenção em relação ao processo produtivo, chegou-se a conclusão que a mais adequada é a **Manutenção Programada**, pois se conhece a vida útil do metal ladle, que é de 5 meses e 15 dias, o equivalente a 2000 voltas, valor calculado acima.

MANUTENÇÃO DE METAL LADLES

A utilização da Manutenção Programada tem a vantagem de prolongar a vida útil de um componente ou sistema da máquina ou do equipamento, reduzindo paragens devidas as avarias.

Como se sabe, na prática, os acontecimentos muito poucas vezes funcionam como na teoria, e neste caso, apesar de se ter decidido que a Manutenção será do grupo planificada e do tipo programada, pode ocorrer algo inesperado, uma avaria ou dano que impossibilita o uso do metal ladle, sendo assim, nestas situações extremas, recorrer a Manutenção não Planificada devido à avaria.

Para um melhor controle, os dados de Manutenção dos metal ladles serão organizados na seguinte tabela que servirá de modelo:

REGISTO DE MANUTENÇÃO DO METAL LADLE							
Nº do Ladle	Descrição do ladle	Data da verificação	Acções realizadas	Pessoa Responsável	Assinatura	Data da próxima verificação	Observações

Tabela 4. 1: Modelo da tabela do registo do Manutenção dos Metal Ladles

MANUTENÇÃO DE METAL LADLES

Exemplo do uso de uma tabela de registo de Manutenção:

REGISTO DE MANUTENÇÃO DO METAL LADLE							
Nº do Ladle	Descrição do ladle	Data da verificação	Acções realizadas	Pessoa Responsável	Assinatura	Data da próxima verificação	Observações
24	Trabalho de emergência (BREAKDOWN)	30/09/2022	Substituição da chapa frontal	Eng. Micavo Jr	ASSINATURA	10/03/2023	Trabalho feito em uma semana, sem percalços, chapa soldada a MIG/MAG

Tabela 4. 2: Exemplo de preenchimento de uma tabela de Registo da Manutenção de Metal Ladles

A tabela acima dá uma ideia do preenchimento dos dados de manutenção dos metal ladles, mas é necessário ressaltar que não existe uma forma única de preenchimento, desde que os dados estejam claros o suficiente para qualquer pessoa com conhecimento e credenciada na área possa interpretá-los sem problemas.

Devido ao número elevado de metal ladles e do número de intervenções feitas neles, para se poder exercer a função Manutenção de maneira eficaz deve se produzir um arquivo técnico, com o objectivo de se ter o histórico de intervenção em cada metal ladle e as suas características. Para tal é necessária a codificação de cada metal ladle, o que é facilitado pois estes estão codificados em números e eles são todos do mesmo departamento, a Cast House.

MANUTENÇÃO DE METAL LADLES



Figura 4. 11: Codificação em números dos metal ladles

CAPÍTULO 5: APRESENTAÇÃO, ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1. Apresentação e análise dos resultados

A deformação dos gussets é de resultado mais simples de alcançar pois o seu controle é apenas com o nível para verificação da retitude da superfície e do combination square (também conhecido como Suta) para a verificação dos ângulos.



Figura 5. 1: Exemplo de um gusset apto a ser usado



Figura 5. 2: Instrumento de medição combination square



Figura 5. 3: Instrumento de medição nível de bolha

O controle de qualidade para a chapa frontal e a chapa de base é quase idêntico e os resultados são apresentados a seguir:



Figura 5. 4: Chapa frontal substituída

Sendo que a soldadura é uma parte essencial no processo de reparação dos metal ladles, estes estão sujeitos a um posterior teste para avaliar a qualidade dos cordões de solda e das junções. Uma soldadura mal feita pode inutilizar novamente o metal ladle e ser necessário o seu retorno à oficina.



Figura 5. 5: Teste de soldadura do tipo magnético

O mesmo tipo de teste é aplicado à chapa substituída na base do metal no caso da substituição da mesma.

5.2. Discussão dos resultados

Os trabalhos de manutenção no metal ladle, para cada tipo de avaria, são satisfatórios e a capacidade de trabalho dos mesmos é confirmada pelo controle de qualidade.

O algoritmo apresentado para a resolução dos problemas vai servir para reduzir o tempo de trabalho de reparação em cada metal ladle e assim aumentar a produtividade da oficina.

É necessário realçar que o plano ainda não está a ser aplicado e que os seus resultados práticos serão avaliados num espaço de 12 meses, contando a partir do dia do início do mesmo.

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusões

Tendo terminado o trabalho pode se concluir que os objectivos, geral e específico, foram alcançados, os metal ladles são indispensáveis no processo de produção da MOZAL e estes precisam de estar sempre aptos a realizar a sua função.

Decidiu-se não modificar a estrutura dos metal ladles (aumento da espessura da chapa, da altura e mudança do material) pois isto implicaria uma mudança numa série de estruturas (desde os stands dos metal ladles aos camiões que transportam os metal ladles e os PTA's) o que acarreta gastos económicos enormes.

O plano de manutenção pode ser implementado de imediato na oficina, dinamizando assim o processo de reparação e qualquer avaria mecânica não mencionada no presente trabalho pode ser adicionada no plano e implementada a sua solução.

6.2. Recomendações

O uso dos planos de manutenção é indispensável para a existência a longo prazo de qualquer empresa de reparação e aconselha-se o uso disciplinado do plano apresentado. Com o passar do tempo e com o aumento nível de exigência este pode ser expandido para acomodar todos os aspectos técnicos importantes para a realização de um trabalho excelente.

BIBLIOGRAFIA

- Adm, S. L. (s.d.). *Technical Description of Ladle Crane*. Fonte: Liftsmart:
<https://www.liftsmartcrane.com/post/technical-description-of-ladle-crane>
- Ali, A. C. (2016). *Lições de Manutenção Industrial*. Maputo.
- História do Alumínio*. (29 de Novembro de 2022). Fonte: Wikipedia:
https://pt.wikipedia.org/wiki/Hist%C3%B3ria_do_alum%C3%ADnio
- Ladle (Metallurgy)*. (20 de October de 2022). Fonte: Wikipedia:
[https://en.wikipedia.org/wiki/Ladle_\(metallurgy\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Ladle_(metallurgy))
- Ladle and Torpedo Car Hotspot Detection*. (s.d.). Fonte: INFRATEC:
<https://www.infratec.eu/thermography/steel-production/lhsd/>
- Ladle Handling Double Girder Overhead Crane*. (s.d.). Fonte: ZYCRANEGREAT:
<https://zycranegreat.com/product/qdy-yz-ladle-handling-double-girder-overhead-crane/>
- Ladle Hooks and Ladle Beams*. (2022). Fonte: TRI-STATE RIGGING EQUIPMENT:
<https://tsriggingequipment.com/ladle-hooks-beams>
- Lane, D. (2022). *Foundry Ladle Maintenance and Trouble Shooting*. Fonte: Acetark:
<https://acetarc.co.uk/2-foundry-ladle-maintenance-trouble-shooting>
- Matos, A. (2015). Método Magnético. *Controle de Qualidade*, 37.
- Micavo, I. L. (September de 2022). Como é produzido o alumínio na MOZAL. (F. A. Micavo Jr, Entrevistador)
- Muniz, C. (2011). *Agradecimentos de TCC*. Fonte: Todamatéria:
<https://www.todamateria.com.br/agradecimentos-tcc/>
- Neve, A. L. (2014). *Estudo da variação dos parâmetros tecnológicos na indústria de produção de alumínio primário*. Maputo.

Quais são as diferenças entre trinca, fissura e rachadura? (2022). Fonte: Quartzolit: <https://www.quartzolit.weber/blog/diferenca-entre-trincas-fissuras-e-rachaduras>

Simonsen, R. (2022). *Agradecimentos*. Fonte: TCC Monografias e Artigos: <https://tccmonografiaseartigos.com.br/agradecimentos-abnt-tcc-monografia-trabalho/>

Williams, E. (2002). *The Mozal Smelter Project*. Fonte: Project Management Institute: <https://www.pmi.org/learning/library/mozal-smelter-project-river-aluminum-3024>

ANEXOS