

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE MECÂNICA
CURSO DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS DE FABRICAÇÃO MECÂNICA**

ANDERSON LUIS CLAUSEN

**ESTUDO DO PROCESSO DE METALIZAÇÃO POR
CENTRIFUGAÇÃO DE METAL PATENTE À BASE DE ESTANHO EM
CAPAS DE AÇO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PONTA GROSSA
2012**

ANDERSON LUIS CLAUSEN

**ESTUDO DO PROCESSO DE METALIZAÇÃO POR
CENTRIFUGAÇÃO DE METAL PATENTE À BASE DE ESTANHO EM
CAPAS DE AÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Diplomação, do Curso Superior de Processos de Fabricação Mecânica da Coordenação de Mecânica - COMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo.

Orientador: Prof. Eng. Luiz
Fernando Salomon Pinto

PONTA GROSSA

2012



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa
Diretoria de Graduação e Educação Profissional



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DO PROCESSO DE METALIZAÇÃO POR CENTRIFUGAÇÃO DE METAL
PATENTE A BASE DE ESTANHO EM CAPAS DE AÇO.

por

Anderson Luis Clausen

Este Trabalho de Diplomação foi apresentado em 23/03/2012 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica. O(a) candidato(a) foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Luiz Fernando Salomon Pinto
Prof. Orientador

Davi Fusão

Membro titular

Paulo Barbosa Pinto
Membro titular

Prof. Francisco Emilio Dusi
Responsável pelos Trabalhos
de Conclusão de Curso

Irapuan Santos
Coordenador do Curso
UTFPR - Campus Ponta Grossa

Dedico este trabalho a Deus, aos meus pais Sílvio e Ivone, aos meus irmãos Sílvio e Samarion e a minha noiva Michele.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelas oportunidades que me foram dadas na vida, principalmente por ter conhecido pessoas e lugares interessantes, mas também por ter vivido fases difíceis, que foram matérias-primas de aprendizado.

Não posso deixar de agradecer aos meus pais Sílvio Clausen e Ivone Clausen, sem os quais não estaria aqui, e por terem me fornecido condições para me tornar o profissional e Homem que sou.

Aos meus irmãos Sílvio e Samarion, que desde pequenos me ensinaram diversas coisas.

Ao meu amigo Toni, que me forneceu bons momentos de discussão sobre o tema a ser abordado, e material de pesquisa. Ao meu orientador Luíz Fernando Pinto, pelas boas conversas que tivemos e pelos ensinamentos e dicas profissionais.

A todos só posso dizer: Muito Obrigado!

RESUMO

CLAUSEN, Anderson. **Estudo do processo de metalização por centrifugação de metal patente à base de estanho em base de aço**. 2011. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Processos de Fabricação Mecânica), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2011.

O revestimento com metal patente a base de estanho conforme a norma (ASTM B23 liga 2) em bases de aço SAE 1010/1020, pode apresentar mudanças em suas características de resistência e adesão, conforme a utilização de determinado processo de metalização. Atualmente existem vários processos, como por exemplo, a metalização estática, centrifugação, aspersão térmica e sinterização. Os processos oferecem as mais variadas possibilidades de revestimentos e opções de materiais que por consequência, oferecem inúmeras soluções técnicas de engenharia e características como a proteção contra corrosão, dureza ideal para trabalho com eixos de altas e baixas rotações, alta resistência ao desgaste, resistência a elevadas temperaturas e boa condutibilidade elétrica, mas também pode trazer deficiências, o que podem comprometer o produto final. Este trabalho apresenta o estudo feito sobre o processo de metalização por centrifugação de metal patente a base de estanho em aço de baixo teor de carbono, indicando a melhor preparação superficial para receber o revestimento, para o estudo foram fabricados corpos de prova e analisados conforme a norma (ISO 4386-2 1982 revisão E). Com os resultados observou-se que o processo em estudo apresentou resultados satisfatórios, atendendo as exigências descritas na norma.

Palavras-chave: Metal Patente. Adesão. Centrifugação.

ABSTRACT

CLAUSEN, Anderson. **Study of the metallization process by centrifugation of patent-based metal tin in the steel base.** 2011. 66 p. . Completion of course work (undergraduate Technology in Manufacturing Processes Mechanical), Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa, 2011.

The patent plating using tin as standard (ASTM B23 alloy 2) bases in steel SAE 1010/1020 may have changes in their resistance and adhesion characteristics, as determined using the metallization process. Currently there are several processes, such as metallization static centrifugation, thermal spraying and sintering. The processes offer more possibilities and options for coating materials that consequently, offer numerous technical solutions and engineering characteristics such as corrosion protection; ideal for hard work with axes high and low speeds, high wear resistance, resistance to high temperatures and good electrical conductivity, but can also bring deficiencies, which can compromise the final product. This paper presents a study on the process of metal plating by centrifugation using tin patent steel low carbon content, indicating the best surface preparation to receive the coating to the study specimens were fabricated and analyzed according to standard (ISO 4386-2 and revised in 1982). The results showed that the process under study showed satisfactory results, meeting the requirements described in the standard.

Keywords: Metal Patent. Accession. Centrifugation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Classificação dos mancais quanto a direção da carga.....	13
Figura 2- Classificação dos mancais quanto a forma de sustentação.	14
Figura 3- Mancais de deslizamento.	15
Figura 4- Tipos de mancais de elementos rolantes.	16
Figura 5- Classificação quanto a forma de sustentação.	17
Figura 6- Princípio de funcionamento dos mancais magnéticos.....	18
Figura 7- Mancal magnético.	18
Figura 8- Sistema para metalização por centrifugação.....	24
Figura 9- Barra de aço ABNT 1020.....	34
Figura 10- Lingote de metal patente a base de estanho (ASTM B23 liga 2).....	35
Figura 11- Tanques de Ácido Clorídrico e Ácido Nítrico.	35
Figura 12- Aparelho de ultra-som.	36
Figura 13- Jateador CMV.....	36
Figura 14- Centrifugador Smagon.....	37
Figura 15- Torno CNC ROMI MAZAK.....	37
Figura 16 - Durômetro Pantec.....	38
Figura 17- Espectrômetro Baird.	38
Figura 18- Torno de amostras Smagon.	39
Figura 19- Máquina Emic DL10000 UTFPR.	39
Figura 20- Forno de Indução magnética.	40
Figura 21- Microscópio óptico Olympus BX-51.....	40
Figura 22- Amostra do metal patente já preparada.....	41
Figura 23- Resultado da análise realizada no espectrômetro.....	42
Figura 24- Foto do ensaio de dureza.	43
Figura 25- Foto da amostra pronta para análise microscópica.	44
Figura 26- Foto da microscopia óptica ampliada 500X.....	44
Figura 27- Croqui da usinagem da primeira operação da base.....	46
Figura 28- Croqui da usinagem da segunda operação da base.	47
Figura 29- Estanhagem das bases.	48
Figura 30- Metalização por Centrifugação dos Anéis.	49
Figura 31- Croqui de sangria dos anéis.....	50
Figura 32- Croqui de sangria dos seguimentos do anel.....	51
Figura 33- Croqui de usinagem da primeira operação do corpo de prova.	52
Figura 34- Croqui de usinagem da segunda operação do corpo de prova.	53
Figura 35- Ecos de aderência.....	55
Figura 36- Resultado do ensaio de compressão dos segmentos decapados...57	
Figura 37- Resultado do ensaio de compressão dos segmentos jateados.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Propriedades de metais antifricção.....	21
Tabela 2- Guia de seleção da liga de acordo com a norma ASTM B23.	21
Tabela 4- Etapas da preparação superficial	30
Tabela 5- Valores de resistência de ligação e condições de resfriamento.	32
Tabela 6- Ensaio de dureza dos corpos de prova.....	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVO GERAL.....	10
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
1.3 JUSTIFICATIVA.....	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 MANCAIS.....	12
2.1.1 Mancais de Deslizamento.....	14
2.1.2 Mancais de Elementos Rolantes.....	15
2.1.3 Mancais a Filme Fluido.....	16
2.1.4 Mancais Magnéticos.....	17
2.2 MATERIAIS PARA MANCAIS.....	19
2.2.1 Materiais de Revestimento para mancais de Deslizamento.....	19
2.3 METALIZAÇÃO.....	23
2.3.1 Processos de Metalização.....	23
2.3.1.1 Metalização por centrifugação.....	23
2.3.1.2 Metalização de mancais por centrifugação.....	24
2.4 PREPARAÇÃO SUPERFICIAL.....	25
2.4.1 Desengorduramento.....	26
2.4.2 Decapagem.....	27
2.4.2.1 Decapagem química.....	27
2.4.2.1.1 Ácidos.....	27
2.4.2.1.2 Ácido clorídrico.....	28
2.4.2.1.3 Ácido nítrico.....	28
2.4.3 Estanhagem.....	28
2.5 PROCESSO DE REVESTIMENTO.....	31
3 MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1 MATERIAIS.....	34
3.2 MÉTODO.....	41
3.2.1 Preparação do Metal Patente a Base de Estanho.....	41
3.2.2 Preparação das Bases em Aço ABNT 1020.....	45
3.2.3 Metalização.....	49
3.2.3.1 Metalização por centrifugação.....	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	54
5 CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais, os mancais de deslizamento precisam captar esforços estáticos e dinâmicos maiores, devido a potências mais elevadas e o desenvolvimento de novas máquinas, devendo atingir uma vida útil prolongada.

Estas exigências podem ser satisfeitas através da união entre as características específicas de diferentes materiais e de determinadas características construtivas.

A solução técnica é o mancal de deslizamento com um material composto bimetalico. Um casquilho de apoio, geralmente em aço ou ferro fundido, conferindo ao mancal a estabilidade mecânica e revestido internamente por um composto (metal branco). Esta camada de metal branco no casquilho de apoio fornece à mesmo uma capacidade de carga estática e dinâmica consideravelmente maior, em comparação com um mancal de deslizamento de um único material. Entre os materiais ou composições utilizadas no revestimento de mancais de deslizamento existem as ligas de estanho, de chumbo, bronze e chumbo, cobre e chumbo, de alumínio, entre outras.

Para se indicar a liga que um mancal receberá, deverá saber a finalidade do mancal, que tipos de forças ou esforços atuarão nos mancais, tipo de lubrificação, velocidade de rotação, etc.

Uma das ligas, mais utilizada, é a de estanho e foi criada pelo inventor Isaac Babbitt (1799-1862), especialista em criação de ligas metálicas, sendo denominado de babbitt metal, ou simplesmente babbitt, patenteada por ele (1839). Uma liga antifricção composta de estanho e cobre com antimônio, usada extensivamente revestindo caixas para eixos e para uso em máquinas a vapor. O baixo ponto de fusão facilita seu uso como revestimento para proteger metais contra oxidação.

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho teve como objetivo analisar o processo de metalização por centrifugação de liga à base de estanho em bases de aço ABNT 1020 para possível fabricação de mancais radiais e axiais para clientes que adotam como norma de aceitação a norma ISSO 4386/1 e ISSO 4386/2-Teste de Chalmers,

referente aos ensaios não destrutivos e destrutivos qualificando e quantificando a força de aderência entre o babbitt e a capa de aço.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar a eficácia do processo de metalização por centrifugação em relação à aderência entre o babbitt e a base de aço de acordo com a norma ISSO 4386/1 e 4386/2.

Analisar qual a preparação superficial mais adequada para a capa de aço para receber o babbitt.

1.3 JUSTIFICATIVA

Em numerosas áreas de aplicação, as tecnologias de revestimento usam os métodos tradicionais (centrifugação, estática, entre outros). A flexibilidade destas técnicas permite revestir qualquer tipo de material, independentemente da sua forma, geometria e dimensão.

Utilizando-se a metalização, pode-se executar a recuperação dimensional em um prazo menor do que o utilizado na fabricação de peças novas. Em peças novas podem ser utilizados revestimentos aplicados por metalização em regiões específicas, reduzindo desta forma o custo com matérias-primas e tratamentos térmicos especiais em toda a extensão da peça.

Peças usadas podem ser recuperadas com custos inferiores ao de fabricação de peças novas e com resultados muitas vezes superiores.

Estruturas de grandes dimensões o podem ser metalizadas contra a corrosão também em campo (nas instalações do próprio usuário), não havendo, portanto, limitação de tamanho.

Desta forma, o presente trabalho visa estudar a eficácia do processo de metalização por centrifugação com babbitt a base de estanho em capa de aço com baixo teor de carbono, contribuindo para um melhor conhecimento sobre este assunto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Máquinas rotativas são dotadas de dois elementos básicos para execução de seu objetivo, é o eixo e os mancais (que suportam o eixo e os esforços impostos por ele). Os mancais são elementos que apresentam um movimento relativo entre seus elementos constituintes, específicos para suportar cargas radiais e axiais, e também capazes de suportar cargas nas duas direções.

Os mancais de deslizamento foram os primeiros a ser utilizados. A superfície entre o eixo e o mancal está em contato direto, podendo ou não haver lubrificação.

2.1 MANCAIS

Mancais são elementos de máquinas que apresentam um movimento relativo entre seus elementos constituintes. Os mancais podem ser definidos como sendo todos os elementos onde o movimento de translação em qualquer direção deve ser minimizado, se não proibido, deixando livre a rotação somente em torno de um eixo. Simplificando, onde o componente fixo permite ao eixo ter somente um grau de liberdade, sendo que o movimento relativo entre as partes é de rotação. Tal definição, contudo, torna-se muito limitada quando a comparamos com o amplo espectro de utilização dos mancais (STOETERAU, 1992).

Existem mancais específicos para suportar cargas predominantemente radiais e axiais, porém muitos são capazes de suportar cargas em ambas as direções. Isto leva a uma grande variedade de princípios de soluções. Apesar de muitos dos vários tipos de mancais serem diretamente aplicados em máquinas-ferramentas, quer em guias ou árvores, alguns, tais como as barras de tensão, também conhecidos como mancais de mola ou mancais de deformação, apresentam características que os tornam únicos em aplicações de precisão, ou em dispositivos e acessórios (STOETERAU, 1992).

Os mancais estão divididos em dois parâmetros: a direção da carga e a forma de sustentação.

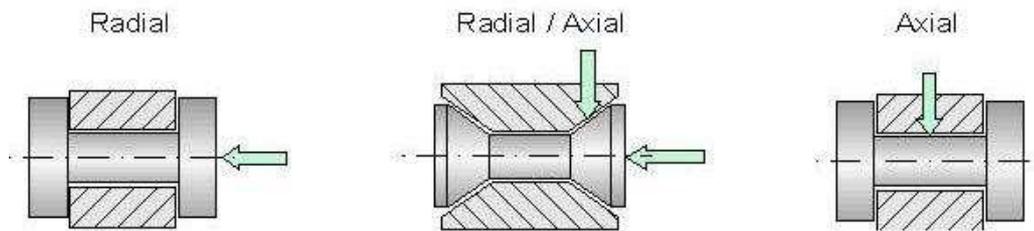


Figura 1- Classificação dos mancais quanto a direção da carga.
Fonte: UFSC- Stoeterau, R.L. Introdução ao Projeto de Máquina-Ferramentas Modernas.
Departamento de Engenharia Mecânica. Santa Catarina, 2004.

O mancal radial pode ser simples como um furo usinado em uma peça de ferro fundido ou pode conter detalhes, como por exemplo, ranhuras, bolsas e canais de óleo. Buchas podem ser consideradas um tipo de mancal simples (STOETERAU, 1992).

São utilizados em várias dimensões, em ambos os tipos, com parede fina ou espessa, com ou sem material de revestimento. O mancal axial ou de escora é usado para suportar cargas axiais, tanto na horizontal quanto na vertical, devido ao peso próprio. Normalmente, mancais axiais são compostos de um flange, fixo ao eixo, apoiado sobre um coxim fixo ou sapatas que podem ser fixas ou basculantes (OLIVEIRA, 1960).

No seu regime de trabalho, quando um mancal atinge as condições de lubrificação pelicular, os materiais usados têm pouca influência sobre a perda de potência e o desgaste. Com uma lubrificação imperfeita, as superfícies se põem em contato, e os materiais devem para tanto, ser selecionados para suportar tais condições (STOETERAU, 1992).

Um bom mancal deve ter uma boa resistência à compressão e a fadiga, ser macio, ter baixo ponto de fusão e baixo módulo de elasticidade, para permitir que o material se adapte a pequenas irregularidades e absorva partículas estranhas que penetrem entre as superfícies dos casquilhos e do eixo (OLIVEIRA, 1960).

- Quanto a forma de sustentação:

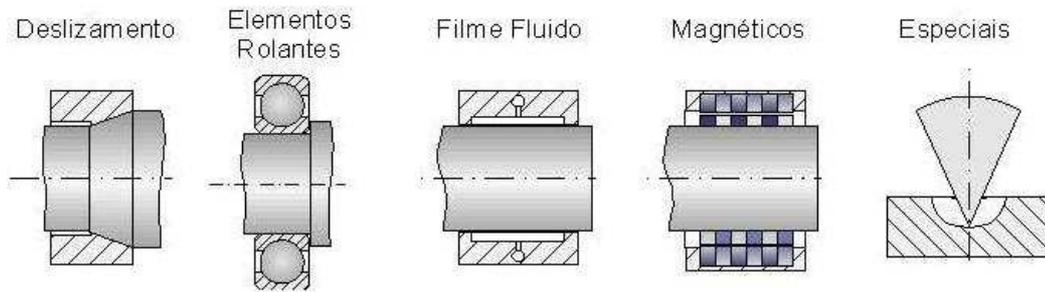


Figura 2- Classificação dos mancais quanto a forma de sustentação.

Fonte: UFSC- Stoeterau, R.L. Introdução ao Projeto de Máquina-Ferramentas Modernas. Departamento de Engenharia Mecânica. Santa Catarina, 2004.

2.1.1 Mancais de Deslizamento

Os mancais de deslizamento, também conhecidos como mancais de escorregamento ou de buchas de deslizamento, foram os primeiros tipos de mancais utilizados pelo homem. Neles, as superfícies com movimento relativo estão em contato direto, podendo ou não ter lubrificação. Existem outras condições que devem ser consideradas, como a capacidade de resistir à corrosão, baixo custo, baixo coeficiente de atrito, capacidade de condução de calor, entre outras (STOETERAU, 1992).

Existem mancais de deslizamento radiais, axiais, mancais de deslizamento com geometria cônica, com eixo esférico e pivotados, entre outros. As buchas de deslizamento não são muito utilizadas em máquinas, exceto em guias, sendo seu uso restrito a alguns mecanismos finos e aplicações especiais (STOETERAU, 1992).

Os mancais de deslizamento se caracterizam por apresentarem um elevado atrito entre os componentes com movimento relativo, e tendem a engripar. Por outro lado, os mesmos apresentam elevada precisão de giro, podendo encontrar aplicações muito específicas. Em geral esse tipo de mancal é utilizado em máquinas, ou em dispositivos de precisão, onde as velocidades relativas e as temperaturas sejam baixas (OLIVEIRA, 1960).



Figura 3- Mancais de deslizamento.

Fonte: <http://www.zollern.de/br/plain-bearings/industrial-bearings/thick-walled-bearing.html>

Os mancais de deslizamento são elementos de máquinas sujeitos às forças de atrito. Tais forças surgem devido à rotação dos eixos que exercem cargas nos alojamentos dos mancais que os contém. Para aumentar a vida é utilizados alguns parâmetros na sua construção, como, a seleção dos materiais deslizantes, um sistema de lubrificação eficiente, facilidade na desmontagem e substituição. Mas o desenvolvimento de máquinas com potências cada vez mais elevadas tem como consequência que os mancais de deslizamento tendam a captar esforços estáticos e dinâmicos cada vez maiores, e tendo que atingir uma vida útil ainda mais prolongada (STOETERAU, 1992).

2.1.2 Mancais de Elementos Rolantes

Mancais de elementos rolantes ou de rolamento são largamente utilizados em mecanismos de precisão. Nestes mancais, as superfícies com movimento relativo são separadas por um elemento rolante, o qual pode ser esférico, cilíndrico, cônico, na forma de barril ou de agulha. São divididos em classes de precisão e classificados quanto ao tipo de carga que podem absorver (STOETERAU, 1992).

Conforme o tipo de carga a que estão submetidos, os mancais são denominados de mancais radiais, axiais ou radiais / axiais, conforme a figura 3.

Mancais de elementos rolantes são empregados em uma grande variedade de estruturas, e devem satisfazer uma fácil movimentação e o mínimo de atrito possível (STOETERAU, 1992).

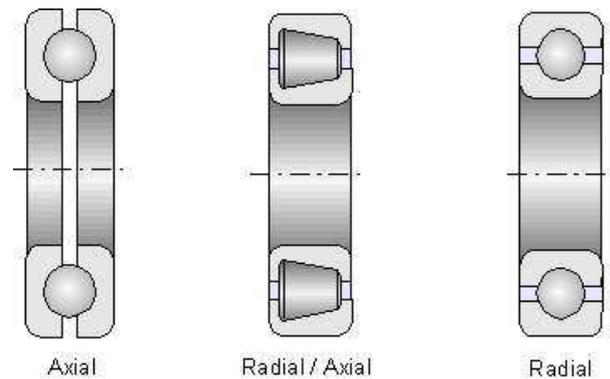


Figura 4- Tipos de mancais de elementos rolantes.

Fonte: UFSC- Stoeterau, R.L. Introdução ao Projeto de Máquina-Ferramentas Modernas. Departamento de Engenharia Mecânica. Santa Catarina, 2004.

Em geral, os mancais são fabricados inteiramente em aços especiais, podendo também ser produzidos em teflon ou material polimérico. Mais recentemente, começaram a aparecer comercialmente mancais de elementos rolantes fabricados em cerâmica (STOETERAU, 1992).

2.1.3 Mancais a Filme Fluido

Mancais a filme fluido são aqueles em que a separação entre o eixo e o mancal é realizada por um lubrificante. Para aplicações usuais ou industriais, são mais utilizados devido à sua longa vida e alta capacidade de carga. Dividem-se em dois tipos principais: os mancais fluidodinâmicos e os fluidoestáticos (STOETERAU, 1992).

- mancais fluido dinâmicos são aqueles em que a pressão da película de lubrificante dependerá da velocidade tangencial do mancal;
- mancais fluido estáticos são aqueles em que a superfície, entre o eixo e o mancal, é separada por um filme lubrificante sob pressão, fornecido por uma bomba, ou compressor externo.

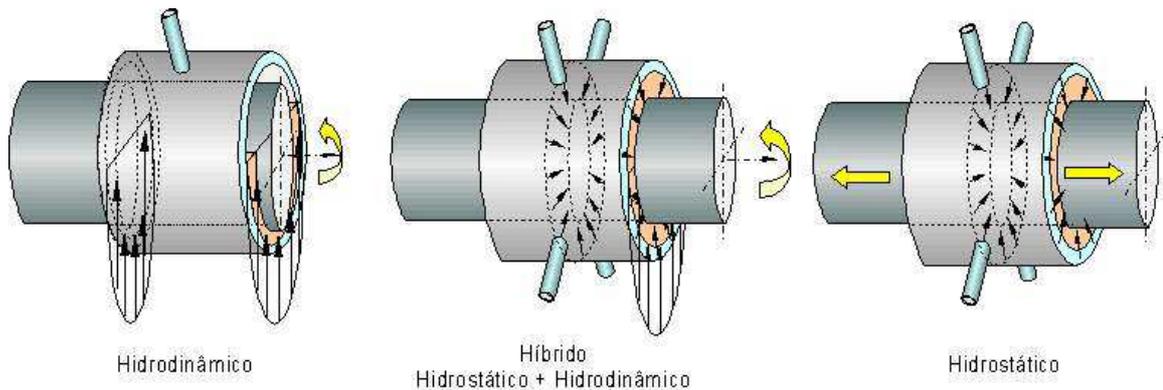


Figura 5- Classificação quanto a forma de sustentação.
Fonte: UFSC- Stoeterau, R.L. Introdução ao Projeto de Máquina-Ferramentas Modernas. Departamento de Engenharia Mecânica. Santa Catarina, 2004.

Quanto ao tipo de fluido, estes podem ser divididos em: líquidos e gases (STOETERAU, 1992).

Líquidos - A utilização de líquidos como fluido lubrificante em mancais acarreta a perda das propriedades devido ao calor gerado quando em operação, formando um limitador de velocidade, o que torna necessária a utilização de sistemas de resfriamento para manter o fluido em uma temperatura pré-estabelecida. Dos vários fluidos existentes, o mais usado é o óleo. Apesar de a água apresentar melhores características, sua capacidade corrosiva a torna pouco atrativa para uso industrial.

Gases - A utilização de gases como fluido lubrificante se deve a capacidade destes de manter suas propriedades mesmo a temperaturas elevadas, por apresentarem viscosidades muito menores do que as dos líquidos, o que abriu a possibilidade de se atingir velocidades mais elevadas. O ar tem sido o mais utilizado. Portanto, as terminologias mancal a ar, e mancal aerostático tornam-se mais adequadas para designar este tipo de mancal.

2.1.4 Mancais Magnéticos

O funcionamento dos mancais magnéticos está baseado no princípio da atração ou repulsão mútua entre os polos magnéticos. Os campos magnéticos mantêm o eixo com movimento relativo suspenso, sem que ocorra contato metal-metal (STOETERAU, 1992).

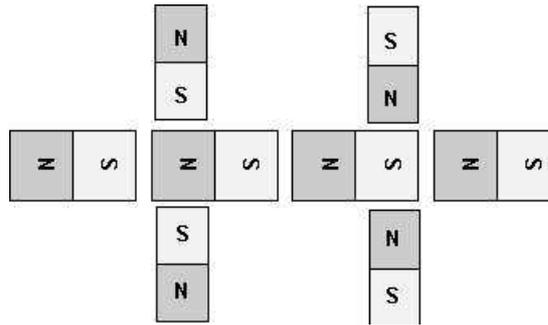


Figura 6- Princípio de funcionamento dos mancais magnéticos.
Fonte: UFSC- Stoeterau, R.L. Introdução ao Projeto de Máquina-Ferramentas Modernas. Departamento de Engenharia Mecânica. Santa Catarina, 2004.

Devido à excelente rigidez proporcionada por estes mancais, sua principal aplicação se dá em fusos de alta velocidade, onde pode-se atingir rotações entre 10.000 e 100.000 rpm. Apesar de não haver geração de calor por atrito mecânico entre as partes metálicas, há calor de forma excessiva devido a correntes parasitas, que torna necessário a utilização de refrigeração (STOETERAU, 1992).

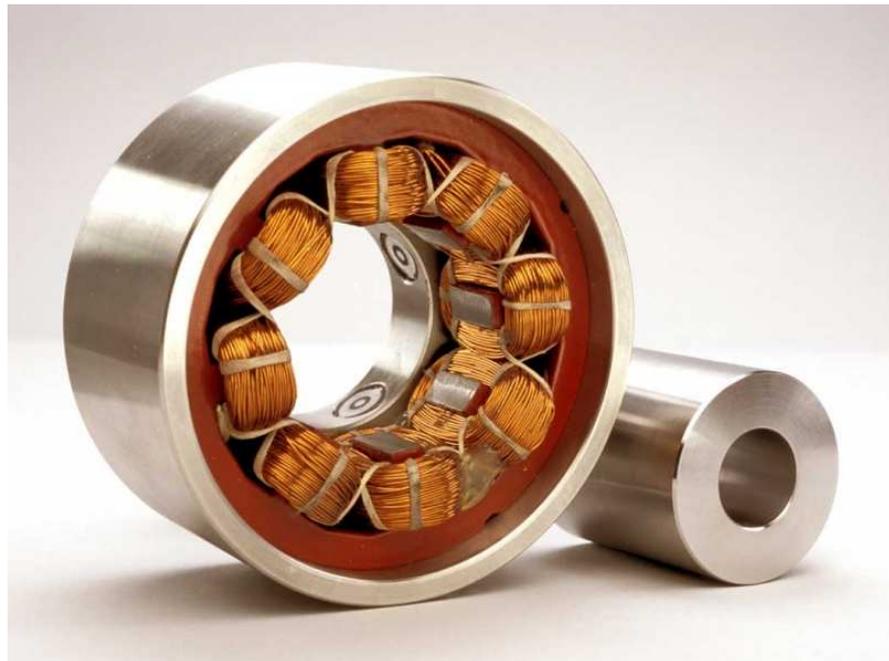


Figura 7- Mancal magnético.
Fonte: <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/4003-vantagens-do-rolamento-magnetico/>

2.2 MATERIAIS PARA MANCAIS

As propriedades que devem ser satisfeitas pelos materiais para mancais são de duas categorias. Aquelas importantes durante o atrito fluido e outras importantes no atrito semi-fluido (OLIVEIRA, 1960).

Algumas propriedades desejáveis nos materiais para mancais são a resistência à fadiga, compatibilidade, aderência, conformabilidade, baixo atrito, resistência à corrosão, resistência mecânica e resistência ao calor (OLIVEIRA, 1960).

Oliveira (1960) descreve as propriedades dos materiais:

Resistência a fadiga. Verificou-se ser a propriedade mais importante para mancais sujeitos a cargas alternadas. São mais sensíveis à fadiga os mancais que possuem um casquilho com revestimento de material antifricção e encosto de aço... a fadiga inicia-se por fissuras superficiais, que se aprofundam e provocam a saída de escamas do revestimento.

Compatibilidade. É uma ideia de capacidade do metal antifricção de evitar engripamento durante um atrito semi-fluido... O engripamento consiste numa solda entre moente e mancal devido ao calor gerado.

Aderência. É a capacidade de o revestimento ligar-se intimamente com o mancal axial.

Conformabilidade. Está relacionado com a baixa dureza e reduzido módulo de elasticidade e ductilidade. Essa propriedade permite que o mancal compense desalinhamentos ou outros erros geométricos e que o mancal absorva poeira ou outras partículas abrasivas, evitando assim o desgaste do eixo.

Baixo atrito. Aplicando métodos melhorados de fabricação, consegue-se aperfeiçoar as superfícies deslizantes tornando-as mais suaves, visando reduzir o atrito ainda mais.

Resistência à corrosão. Os metais antifricção são atacados em graus diferentes por elementos corrosivos, entre os quais se destaca o próprio óleo oxidado.

Resistência mecânica. É entendida como a força resultante da aplicação de uma força sobre um material.

Resistência ao calor. É tanto menor quanto mais rapidamente cai a dureza com a temperatura e tanto maior quanto mais elevada a condutibilidade térmica. A antiga teoria de que um bom material para mancal deveria apresentar um sistema difásico de uma matriz macia com cristais duros nela espalhados, perdeu sua validade (OLIVEIRA, 1960).

2.2.1 Materiais de Revestimento para Mancais de Deslizamento

Nas propriedades das ligas a base de estanho, comumente contém cobre e antimônio, seguindo o padrão, embora não necessariamente as proporções, de liga originais Isaac Babbitt. Eles têm dureza até 32 HB o que lhes dá excelentes características de carga. Elas mostram resistência de baixo atrito, baixo desgaste e bom comportamento na ausência de lubrificação adequada. Resistem a

corrosão, são facilmente fundidas e mantêm as propriedades mecânicas a altas temperaturas (Technology's..., 1999).

Metal patente à base de estanho (babbitt) é em essência uma liga de estanho, antimônio e cobre, aos quais podem ser acrescentados até 30% de chumbo para reduzir o preço. Relativamente a outras ligas para mancais, estas apresentam menor resistência à fadiga. O tipo mais usado em automóveis é o SAE 110 (ASTM 2) (OLIVEIRA, 1960).

As ligas à base de chumbo contêm antimônio e estanho, que aumentam muito a resistência e a dureza de chumbo. As propriedades destas ligas melhoram com a adição de antimônio até um máximo de 18%. Acima disso, as ligas se tornam excessivamente frágeis. A adição de estanho melhora as propriedades mecânicas e de fundição (Technology's..., 1999).

Metal patente à base de chumbo é muito usado em automóveis e motores diesel. O mais empregado é SAE 15 (ASTM 15), contendo 1% de arsênico, que eleva a resistência em temperaturas mais altas. Competem favoravelmente com os metais patente à base de estanho, de preço bem elevado, desde que a película de revestimento seja delgada (75 μm). Frequentemente se emprega esse material em mancais de vagões com revestimento de 6 mm de espessura (OLIVEIRA, 1960).

Ligas à base de cádmio apresentam maior resistência à fadiga que os babbitt. A sensibilidade à corrosão pode ser diminuída pelo emprego de índio. Ligas cobre-chumbo são usadas em veículos e aviões, na forma de bronzinas. São sensíveis à ação corrosiva do óleo e utilizadas na fabricação de buchas. Resistem a temperaturas mais elevadas, desgastam-se menos que os metais patentes e apresentam pequeno coeficiente de atrito de partida. Bronzes de estanho e bronze com baixo teor de chumbo são apropriados para grandes e elevadas cargas. Resistem a altas temperaturas e ambiente corrosivo. Deve-se evitar flexão excessiva do moente. A prata empregada em casquilhos é depositada por eletrólise. A superfície é usinada seguindo-se nova eletrólise que deposita inicialmente chumbo e depois estanho ou índio. É o tipo de mancal de maior resistência à fadiga e mais elevada capacidade de carga, usado em aviação (OLIVEIRA, 1960).

Ligas de alumínio são usadas, sobretudo na forma de peças obtidas por fundição em molde permanente. Apresentam alta capacidade de carga, resistência à fadiga e à corrosão (OLIVEIRA, 1960).

Tabela 1- Propriedades de metais antifricção.

PROPRIEDADES DE METAIS ANTIFRICÇÃO									
Tipos de Metal	HB a 20°C	HB a 130°C	HB min. do eixo	Pressão kg/cm ²	Máx. Temp. Trabalho °C	Compatibilidade	Conformabilidade	Resistência à Corrosão	Resistência à Fadiga
Metal Patente - Sn	20-30	6-12	150	55-110	130	1	1	1	5
Metal Patente - Pb	15-20	6-12	150	55-85	135	1	1	3	5
Base de cádmio	30-40	15	200-250	100-250	140	1	2	5	4
Cobre e chumbo	20-30	20-23	300	110-170	150	2	2	5	3
Bronze de estanho	60-80	60-70	300-400	300	260	3	5	2	1
Bronze de chumbo	40-80	40-60	300	200-320	250	3	4	4	2
Liga de alumínio	45-50	40-45	300	300	100-135	5	3	1	2
Prata	25	25	300	300	260	2	3	1	1

Fonte: USP- OLIVEIRA, N.C.G. Mancais de deslizamento. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1960.

Tabela 2- Guia de seleção da liga de acordo com a norma ASTM B23.

CHEMICAL COMPOSITION ¹ (%)	TIN-BASE				LEAD-BASE			
	ALLOY NUMBER ² (GRADE)							
	1	2	3	11	7	8	13	15
TIN	90.0 to 92.0	88.0 to 90.0	83.0 to 85.0	86.0 to 89.0	9.3 to 10.7	4.5 to 5.5	5.5 to 6.5	0.8 to 1.2
ANTIMONY	4.0 to 5.0	7.0 to 8.0	7.5 to 8.5	6.0 to 7.5	14.0 to 16.0	14.0 to 16.0	9.5 to 10.5	14.5 to 17.5
LEAD	0.35	0.35	0.35	0.50	remainder ³	remainder ³	remainder ³	remainder ³
COPPER	4.0 to 5.0	3.0 to 4.0	7.5 to 8.5	5.0 to 6.5	0.50	0.50	0.50	0.6
IRON	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10
ARSENIC	0.10	0.10	0.10	0.10	0.30 to 0.60	0.30 to 0.60	0.25	0.8 to 1.4
BISMUTH	0.08	0.08	0.08	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10
ZINC	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
ALUMINUM	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005
CADMIUM	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
TOTAL NAMED ELEMENTS, Min.	99.80	99.80	99.80	99.80				

Fonte: Technology's Babbitt Casting Department.

Tabela 3- Composição de ligas

Grupo	Designação	Composição (percentagem)												
		Sn	Cu	Sb	Pb	As	Bi	Cd	Ni	Ag	Zn	P	Al	Fe
Metal patente à base de Sn	SAE 10	90,0	4,0-5,0	4,0-5,0	0,35	0,1	0,08							
	SAE 11	86,0	5,0-6,5	6,0-7,0	0,35	0,1	0,08							
	SAE 110	88,0	2,2-3,7	7,0-8,5	0,35	0,1	0,08							
Metal patente à base de Pb	SAE 13	4,5-5,5	0,5	9,2-11,0	86,0	0,6								
	SAE 14	9,3-11,0	0,5	14,0-16,0	76,0	0,6								
	SAE 15	0,9-1,3	0,6	14,5-15,5	-	0,8-1,1								
Liga à base de Cd	SAE 18	0,02	0,2		0,05			98,4	1,0-1,6	0,01	0,05-0,2			
	SAE 180	0,01	0,4-0,7		0,02			98,3		0,5-1,0	0,02			
Liga à base de Pb	SAE 48	-	67,0-74,0		25,0-32,0					1,5	0,1	0,03		
	SAE 480	0,05	60,0-70,0		30,0-40,0									
Bronzes de Sn e bronze com baixo teor de Pb	ASTM 1A=SAE 62	9,0-11,0	86,0-89,0		0,3				1,0		1,0-3,0	0,05		
	ASTM 1B=SAE 620	7,5-9,0	86,0-89,0		0,3				1,0		3,0-5,0	0,05		
	ASTM 2A=SAE 622	5,5-6,5	86,0-90,0		1,0-2,0				1,0		3,0-5,0	0,05		
	ASTM 2B=SAE 621	7,5-9,0	85,0-89,0		1,0				1,0		3,0-5,0	0,05		
Ligas de Al	750	6,5	1,0						1,0				91,5	
	XB 750	6,5	2,0						1,2				90,0	
Normas alemães														
Base de Sn	Lg Sn80	79,0-81,0	5,0-7,0	11,0-13,0	1,0-3,0						0,05		0,05	0,1
Base de Pb	Lg PbSn5	4,5-6,5	0,5-1,5	14,5-16,0	77,0-80,0						0,05		0,05	0,1
	Lg PbSn10	9,5-10,5	0,5-1,5	14,5-16,0	72,0-74,0						0,05		0,05	0,1
Liga de Cd	Lg PbSn6Cd	5,0-7,0	0,8-1,2	14,0-16,0	restante	0,3-1,0		0,6-1,0	0,2-0,6					
	G SnBz14	14,0	86,0	0,2	1,0	0,15	0,01		0,5					
Bronze de Sn	Rg4	4,0	93,0	0,1	1,0 / 2,0						2,0			

Fonte: USP- OLIVEIRA, N.C.G. Mancais de deslizamento. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1960.

2.3 METALIZAÇÃO

Pode-se definir metalização como a aplicação de um novo revestimento Metálico sobre uma base. É a deposição de camadas de materiais metálicos sobre superfícies previamente preparadas, oferecendo as mais variadas possibilidades de revestimentos e opções de materiais que, por consequência, oferecem inúmeras soluções técnicas de engenharia e características, tais como, a proteção à corrosão, alta dureza, alta resistência ao desgaste, resistência a elevadas temperaturas e boa condutibilidade elétrica (SILVA, 1981).

2.3.1 Processos de Metalização

São numerosos os processos de metalização. No presente trabalho será abordada apenas a metalização por centrifugação.

2.3.1.1 Metalização por centrifugação

Nesse processo a base tem um movimento de rotação. Sob a ação de forças, o metal é forçado violentamente contra a parede da base, formando uma massa compacta, enquanto os gases, que são mais leves, migram para a superfície interna da peça fundida. O molde que atua como base é rodeada por uma camisa de água para resfriar o metal líquido (Introdução à manufatura mecânica, 2006).



Figura 8- Sistema para metalização por centrifugação.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Alonso (1972), a metalização por centrifugação visa eliminar a porosidade e proporcionar uma peça mais densa utilizando a força centrífuga produzida pela rotação da coquilha e do metal nela contida, em substituição à pressão mecânica.

2.3.1.2 Metalização de mancais por centrifugação

Fundição centrífuga de mancais é feito colocando a base em um suporte ou dispositivo horizontal de um torno ou equipamento semelhante. Uma placa com precisão é aplicada em cada extremidade do mancal para impedir que a liga de vaze para fora. O metal fundido é vertido por um funil de alimentação diretamente para o centro do furo em uma das placas (Technology's..., 1999).

Após as placas fixarem o mancal, o torno é ligado a uma velocidade pre determinada e uma quantidade de liga é vertida para dentro do funil. Imediatamente após a fundição, um spray de água ou ar-água é usada para resfriar o mancal (Technology's..., 1999).

Em teoria, a operação é simples, mas são fatores críticos: a preparação da base, a velocidade de rotação, a espessura do revestimento, vazamento da temperatura e velocidade de arrefecimento (Technology's..., 1999).

A força centrífuga faz com que ocorra segregação, devido à diferença na densidade específica dos componentes sólidos e líquidos, no estado semi-sólido. Em ligas a base de estanho o composto de cobre-estanho tende em direção ao centro (Technology's..., 1999).

Caso a segregação não seja controlada, ao final da metalização, a composição da liga não vai ser uniforme ou idêntica a da liga fundida. Por isso a velocidade de rotação é um elemento importante de controle. Ela varia de cerca de 60 rpm para mancais de grandes dimensões até 1500 rpm para pequenas dimensões. Mancais de diâmetro de 4" a 20" polegadas são rodados a 400 a 600 rpm. É importante determinar a velocidade de rotação para cada tamanho de mancal. Velocidades muito baixas irão deixar de produzir uma boa ligação (Technology's..., 1999).

A espessura do mancal é um fator a ser considerado, porque é quase impossível evitar a segregação em um revestimento muito grosso. As temperaturas para as ligas a base de estanho variam entre 425-480 °C. Para ligas a base de chumbo 480-565 °C. Temperaturas excessivamente altas podem causar resfriamento lento e segregação. A refrigeração deve começar imediatamente após o vazamento (Technology's..., 1999).

2.4 PREPARAÇÃO SUPERFICIAL

Para a fabricação de mancais de babbitt, deve-se obter uma ligação forte e contínua entre o revestimento e o material de suporte... (FORRESTER, 1963).

Para revestir o material de base, em condições ideais com babbitt, deve-se em qualquer caso pré aquecê-lo antes do revestimento, o que torna difícil impedir uma contaminação (FORRESTER, 1963).

Na preparação das superfícies são utilizados métodos físicos, químicos e eletroquímicos ou mistos para se conseguir atingir as características adequadas ao sucesso dos tratamentos posteriores (INETI, 2000).

A preparação do material de base consiste assim de dois estágios: limpeza e estanhagem. Pode-se usar no processo da limpeza a usinagem ou jato de granalhas de aço que é seguido de tratamento desengordurante, para remover películas de

graxa as quais interferem no tratamento da base. Ou utilizar de decapagem em alguma solução ácida (FORRESTER, 1963).

Os tratamentos podem ser feitos por via térmica, por via mecânica, por imersão ou projeção de um material diluído num solvente. Nestes tratamentos há uma transformação físico-química da camada superficial da peça, podendo haver modificações estruturais ou não (INETI, 2000).

Nas Transformações estruturais, a peça sofre alterações estruturais à superfície, as quais são geralmente induzidas por tratamento mecânico, térmico e por implantação iônica (INETI, 2000).

A superfície do metal deverá ser quimicamente limpa, pois partículas finíssimas de óxido são formadas imediatamente após a remoção do metal da solução decapante. Essa película de óxido é removida por meio de um fluxo ativo aplicado à superfície do metal, antes da imersão no banho de estanho (FORRESTER, 1963).

A Preparação das superfícies é obrigatória em todos os casos em que as peças irão ser submetidas a qualquer tipo de tratamento posterior como, por exemplo, o desengorduramento e/ou a decapagem. Estas preparações são praticadas quando se pretende remover camadas de sujidade, matéria orgânica ou óxidos metálicos, de modo a melhorar o contato entre a superfície da peça e o seu posterior revestimento (INETI, 2000).

2.4.1 Desengorduramento

Esta operação tem como objetivo retirar toda a gordura ou óleo existente na peça, por métodos químicos ou eletroquímicos, utilizando solventes orgânicos (clorados ou não), em fase líquida ou em fase vapor, ou soluções aquosas contendo sais alcalinos, produtos molhantes e aditivos (INETI, 2000).

No desengorduramento, são geradas grandes quantidades de resíduos líquidos carregados de contaminantes minerais e orgânicos susceptíveis de reutilização parcial, após tratamento para separação dos constituintes indesejáveis. O desengorduramento precede obrigatoriamente a decapagem ácida ou alcalina (INEPI, 2000).

2.4.2 Decapagem

A decapagem visa eliminar as camadas de óxidos presentes na superfície das peças, de modo a que a posterior deposição de material constitua uma camada perfeitamente aderente e homogênea (INETI, 2000).

Pode efetuar-se por via mecânica (por jacto de areia ou de granalha), por via eletroquímica (catódica, anódica e por corrente alternada) e por via química, a mais vulgarizada. A decapagem por ação química é, usualmente, utilizada nos aços e no cobre, sendo efetuada com ácidos sulfúrico, clorídrico ou nítrico (INETI, 2000).

As operações de decapagem são responsáveis por grande parte dos resíduos líquidos, ácidos e alcalinos gerados nos processos de tratamentos de superfície. Na Figura 5 apresenta-se um exemplo esquemático da decapagem química (INETI, 2000).

2.4.2.1 Decapagem química

Peças com carepa decorrentes do processo de produção ou ferrugem decorrente da corrosão devem ser decapadas quimicamente (SPRINGER, 1963).

Normalmente a decapagem química é feita em soluções aquosas com 10 a 20 % de ácido sulfúrico ou clorídrico. As peças são imersas na solução por 5 a 30 minutos dependendo do estado da sua superfície. Nesse processo ocorre a separação da carepa ou produtos de oxidação e um ataque químico do metal (SPRINGER, 1963).

Os óxidos praticamente não sofrem reações. A sua separação da superfície metálica ocorre mecanicamente pela formação de gás hidrogênio (SPRINGER, 1963).

Para que as peças decapadas apresentem propriedades adequadas para o processamento posterior, é necessário observar as condições do processo como: concentração do ácido, temperatura e tempo de imersão (SPRINGER, 1963).

2.4.2.1.1 Ácidos

Quase todos os metais são atacados pelo oxigênio, que os faz cobrirem-se de uma camada prejudicial (SPRINGER, 1963).

É necessário trabalhar os metais isentos de toda sujeira superficial, e como não se consegue isto por procedimentos mecânicos, utilizam-se para conseguir essa pureza, ácidos, que possuem a propriedade de eliminar, de reduzir os óxidos, transformando-os em compostos solúveis ou facilmente removíveis (SPRINGER, 1963).

2.4.2.1.2 *Ácido clorídrico*

Líquido amarelo claro que solta vapor e capaz de irritar a garganta. Utilizado para desoxidar os metais, geralmente diluído com ácido sulfúrico, ou em água, na proporção de seis partes desta por uma de ácido (SPRINGER, 1963).

Preparada a solução, nela se introduz o objeto que deve ser desoxidado, previamente chamuscado, e, se necessário, logo depois de limpá-lo com ácido sulfúrico (SPRINGER, 1963).

Conserva-se o ácido clorídrico em recipiente de chumbo, o qual se deve conservar fora das oficinas (SPRINGER, 1963).

2.4.2.1.3 *Ácido nítrico*

Líquido branco de cheiro desagradável que ao contato com o ar, solta leve vapor de cor branca. É um veneno violento, queima e ataca à temperatura ambiente. A luz o colora de amarelo claro. Mistura-se com água em qualquer proporção (SPRINGER, 1963).

Leva o nome de água forte (SPRINGER, 1963).

Existe também a água segunda que é o ácido de 20 graus. Serve para desoxidação, pois tem a propriedade de atacar todos os corpos que constituem as impurezas dos metais (SPRINGER, 1963).

2.4.3 Estanhagem

A estanhagem tem como objetivo em uma operação de revestimento por metalização, assegurar uma camada de estanho continua sobre a superfície e uma ligação contendo boas propriedades físicas (FORRESTER, 1963).

Para o aço, a temperatura máxima de estanhagem que deverá ser empregada é cerca de 350°C e o tempo máximo de imersão é de 15 minutos. Para pequenos casquilhos o tempo de estanhagem é mais curto (15 segundos) (FORRESTER, 1963).

Materiais de base diferentes exigem tratamentos de limpeza e estanhagem diferentes. Métodos apropriados para os materiais comuns são apresentados na figura 6 (FORRESTER, 1963).

arranhadura com escova de aço estando a peça imersa no estanho fundido (FORRESTER, 1963).

2.5 PROCESSO DE REVESTIMENTO

Assumindo que o material de base foi estanhado apropriadamente, a boa adesão entre suporte e revestimento depende principalmente de três fatores:

- a camada de estanho sobre o suporte deve estar completamente fundida quando o babbitt é vazado sobre ele, de forma que a fina película de óxido na superfície do estanho é fluçada para fora pelo babbitt (FORRESTER, 1963);

Todos os babbitt se solidificam em uma determinada faixa de temperatura e é na faixa pastosa que há tendência de formação de cavidades por contração (FORRESTER, 1963);

- o tempo de resfriamento na determinação da resistência de ligação. Um bom tempo depende da composição do babbitt e do tamanho do casquilho a ser revestido. A velocidade de resfriamento pode ser controlada pela variação da temperatura do metal e método de resfriar, e ambos esses fatores influenciam na resistência de ligação (FORRESTER, 1963) como se ilustra na figura 10.

Em ligas de SnSbCu (estanho-antimônio-cobre), sem cádmio, os fatores que aumentam a velocidade de esfriamento, aumentam a resistência de ligação. Resfriamento rápido é particularmente necessário para a liga que contenha 7% de cobre. As resistências de adesão baixas foram devido a uma camada do composto intermetálico Cu_6Sn_5 no ponto de ligação, a formação da qual foi impedida pelo uso de temperatura baixa do metal e rápido choque térmico com água (FORRESTER, 1963).

Tabela 4- Valores de resistência de ligação e condições de resfriamento.

COMPOSIÇÃO DO BABBITT	Temp. de vazam. °C acima de líquido	Método de Resfriamento	Resistência de Ligação (ton/pol ²)
7%Sb/3,5%Cu/Sn Restante	50	Resfriamento rápido com água	5.47
7%Sb/3,5%Cu/Sn Restante	50	Resfriamento lento com água	4.82
7%Sb/3,5%Cu/Sn Restante	50	Resfriamento com ar	4.55
7%Sb/3,5%Cu/Sn Restante	100	Resfriamento rápido com água	4.51
7%Sb/%Cu/Sn Restante	50	Resfriamento rápido com água	2.67
7%Sb/%Cu/Sn Restante	50	Resfriamento com ar	2.05
7%Sb/%Cu/Sn Restante	100	Resfriamento rápido com água	2.15
7%Sb/%Cu/Sn Restante	5	Resfriamento rápido com água	4.84
9%Sb/2%Cu/1%Cd/Sn Restante	50	Resfriamento rápido com água	2.43
9%Sb/2%Cu/1%Cd/Sn Restante	50	Resfriamento lento com água	4.37
9%Sb/2%Cu/1%Cd/Sn Restante	50	Resfriamento com ar	6.21

Fonte: Forrester, Babbitt Alloys for Plain Bearings, 1963.

Para ligas que contém cádmio, a melhor resistência de adesão é obtida com esfriamento lento, na qual a elevada resistência à fluência das ligas que contém cádmio impede seu escoamento prontamente às tensões produzidas pela contração diferencial entre o suporte e o revestimento que resulta na formação de fendas nas ligações (FORRESTER, 1963).

É provável que em casquilhos de mancais grandes, velocidades altas de resfriamento poderão causar rachaduras até mesmo em ligas livres de cádmio. Para os grandes casquilhos, resfriamento por meio de jato de ar ou borrifação fina d'água é preferível. Velocidades moderadas de esfriamento devem também ser utilizadas para ligas frágeis tais como as ligas a base de chumbo com pouco estanho (FORRESTER, 1963).

A temperatura mais adaptável para fundição depende da composição do babbitt, o método de revestimento e o tamanho do mancal podem ter que ser

tomados em consideração. Para revestimento manual com babbitt (a base de estanho), uma temperatura de 50°C acima da temperatura de fusão é satisfatória para ligas que contenham 4% ou menos de cobre. Com mais de 4% de cobre, temperaturas um pouco acima do líquido são preferíveis, pois obtém melhor resistência a ligação (FORRESTER, 1963).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

As atividades experimentais do presente trabalho foram realizadas nas dependências da Metalúrgica Santa Cecília nas áreas de fundição, usinagem e laboratório físico e químico. Os ensaios de compressão foram realizados nas dependências da Universidade Tecnológica do Paraná/Campus Ponta Grossa, no Laboratório de ensaios mecânicos e a microscopia óptica foi realizada nas dependências da Universidade Estadual de Ponta Grossa, no laboratório de Engenharia de Materiais.

3.1 MATERIAIS

Foram realizados ensaios e testes a fim de analisar as características e propriedades do metal patente a base de estanho e das preparações superficiais da base de aço que receberá o revestimento, ou seja, verificar se o processo é eficaz em relação a adesão entre o metal patente e a capa de aço.

Os materiais e equipamentos utilizados neste estudo foram os seguintes:

- Barra de aço ABNT 1020 (\varnothing 304,8 x 180,0 largura);



Figura 9- Barra de aço ABNT 1020.
Fonte: Elaborado pelo autor.

- Lingote de metal patente (Babbitt);



**Figura 10- Lingote de metal patente a base de estanho (ASTM B23 liga 2).
Fonte: Elaborado pelo autor.**

- Decapante (ácido clorídrico e ácido nítrico);



**Figura 11- Tanques de Ácido Clorídrico e Ácido Nítrico.
Fonte: Elaborado pelo autor.**

- Aparelho de ultra-som marca KRAUTKRAMER modelo USM 20;



Figura 12- Aparelho de ultra-som.
Fonte: Elaborado pelo autor.

- Jateador CMV modelo GS 150 100X;



Figura 13- Jateador CMV.
Fonte: Elaborado pelo autor.

- Centrifugador SMAGON;



Figura 14- Centrifugador Smagon.
Fonte: Elaborado pelo autor.

- Torno CNC ROMI MAZAK modelo 20U



Figura 15- Torno CNC ROMI MAZAK.
Fonte: Elaborado pelo autor.

- Durômetro Pantec Modelo RBS;



Figura 16 - Durômetro Pantec.
Fonte: Elaborado pelo autor.

- Espectrômetro Baird modelo RBS;



Figura 17- Espectrômetro Baird.
Fonte: Elaborado pelo autor.

- Torno de amostras Smagon;



Figura 18- Torno de amostras Smagon.
Fonte: Elaborado pelo autor.

- Máquina de Tração / Compressão;



Figura 19- Máquina Emic DL10000 UTFPR.
Fonte: Elaborado pelo autor.

- Forno de Indução magnética;



Figura 20- Forno de Indução magnética.
Fonte: Elaborado pelo autor.

- Microscópio óptico Olympus BX-51 com câmera digital Olympus Q. Color 3 com 3 Mega Pixel;



Figura 21- Microscópio óptico Olympus BX-51.
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 MÉTODO

3.2.1 Preparação do Metal Patente a Base de Estanho

Para preparar o metal patente a ser depositado nas bases de aço ABNT 1020 que foram analisadas, foi fundido na fundição da empresa Smagon uma liga chamada de liga mãe, composta de cobre e antimônio, com a finalidade de baixarmos o ponto de fusão do cobre que gira em torno de 1240 °C. Em seguida foi adicionado ao estanho fundido que deve ser trabalhado a uma temperatura de 420 °C, respeitando as devidas proporções para criar a liga conforme norma ASTM B23 liga 2. Foram produzidos aproximadamente 120 Kg de babbitt para aproveitarmos toda a capacidade do cadinho, todo o restante do metal patente a empresa utilizou para a fabricação de buchas de comando e casquilhos.

Com a liga pronta, foi vazada uma quantidade de 0,8 kg em uma coquilha padrão da metalúrgica para preparação da amostra a ser analisada. Essa amostra foi retirada a uma temperatura de 430 °C e a coquilha estava a 370 °C conferidos com o termômetro infravermelho. Após a vazão, a coquilha foi resfriada com água. A amostra retirada foi torneada no torno de amostras (figura 22) com dimensões Ø 50,0 x 15,0 mm largura, faceando as laterais para posterior análise no espectrômetro da empresa.



Figura 22- Amostra do metal patente já preparada.
Fonte: Elaborado pelo autor.

O resultado da análise mostra que a liga foi fundida nas proporções corretas segundo a norma ASTM B23 liga 2.

QUEIMA 1	EL-16		EL16 AQ31860	16:07:57	05-11-2011	A21M4P1
SN#R	SB	CU#R	PB#1	AS	FE	
88.00	8.07	3.37	0.503	0.037	0.018	
**ERROR!! FAVOR CHECAR HV						
QUEIMA 2	EL-16		EL16 AQ31860	16:08:20	05-11-2011	A21M4P1
SN#R	SB	CU#R	PB#1	AS	FE	
88.72	7.61	3.12	0.495	0.035	0.017	
**ERROR!! FAVOR CHECAR HV						
QUEIMA 3	EL-16		EL16 AQ31860	16:08:40	05-11-2011	A21M4P1
SN#R	SB	CU#R	PB#1	AS	FE	
88.58	7.66	3.19	0.494	0.034	0.017	
=====						
Mdia 2	EL-16		EL16 AQ31860	16:08:57	05-11-2011	A21M4P1
SN#R	SB	CU#R	PB#1	AS	FE	
88.65	7.65	3.16	0.495	0.035	0.017	

Mdia corrigida de 2 queimas.			EL16 AQ31860	16:09:02	05-11-2011	
Amostra de standardizaçao fina => STD 16						
SN#R	SB	CU#R	PB#1	AS	FE	
88.79	7.55	3.10	0.495	0.031	0.039	

Figura 23- Resultado da análise realizada no espectrômetro.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Após análise no espectrômetro, a amostra foi para o ensaio destrutivo de dureza com um aparelho Pantec modelo RBS. O aparelho foi calibrado uma pré-carga de 3 kg, carga de 15 kg e esfera de 2,5 mm de aço temperado. Pelo método BRINELL (DIN 50134), baseado em uma relação existente entre uma carga aplicada a uma esfera sobre a amostra a ser controlada e a área da impressão produzida pela esfera na amostra.

O resultado obtido pelo sistema BRINELL na temperatura de 20 °C foi 25 Brinnell (HB) a qual corresponde a dureza da liga segundo norma (ASTM B23 liga 2).



**Figura 24- Foto do ensaio de dureza.
Fonte: Elaborado pelo autor.**

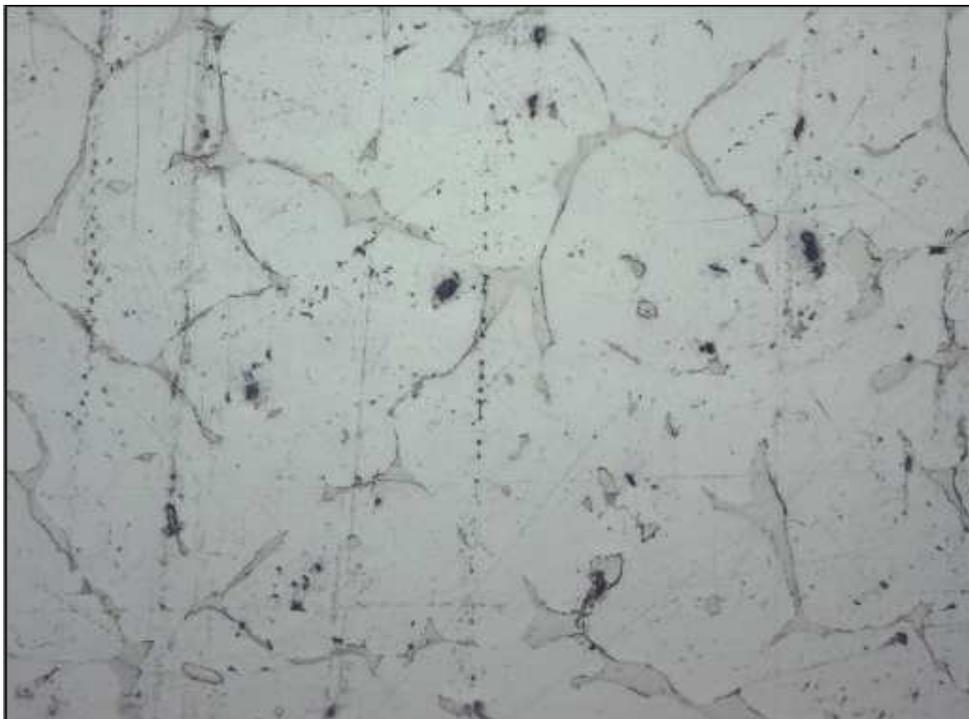
Em seguida foi realizado um estudo microscópico da amostra. Cortou-se um pequeno segmento da amostra, embutindo-o em uma pequena forma com resina odontológica V100. Realizou-se o procedimento metalográfico da seguinte maneira.

O desbaste da amostra consistiu em planificar esta amostra com diversas granas de lixas, sendo elas 320, 400, 600, 1200 e 2000 mesh, usadas nessa ordem e com movimentos alternados 90° a cada troca de lixa. O polimento foi feito com pasta de diamante de 1 μm e 6 μm , e álcool etílico.



**Figura 25- Foto da amostra pronta para análise microscópica.
Fonte: Elaborado pelo autor.**

A amostra foi encaminhada a Universidade Federal de Ponta Grossa aonde se realizou a microscopia ótica que revelou a superfície mostrada na figura a seguir.



**Figura 26- Foto da microscopia ótica ampliada 500X
Fonte: Elaborado pelo autor.**

3.2.2 Preparação das Bases em Aço ABNT 1020

Para realização dos experimentos foram comprado 2 barras de aço ABNT 1020 nas dimensões de: diâmetro externo 304,8 mm x largura 180,0 mm. As barras utilizadas na experiência foram aços contendo de 0,20% de carbono, e contendo quantidades similares de manganês, enxofre, fósforo e silício.

As barras foram levadas ao torno CNC ROMI MAZAK no setor de usinagem C.N.C. para usinagem da preparação de base de acordo com a norma ISO 6280 de 1981 que especifica uma rugosidade de 6 a 10 μm para a superfície que receberá o revestimento e a norma ISO 4386-2 de 1982 que especifica um método de teste para determinação da força de aderência (bond strenght) entre o metal antifricção e a base. Este teste pode ser aplicado em mancais lisos multicamadas, de aço, ferro fundido ou ligas fundidas de cobre e com ligas antifricção à base de chumbo, estanho, cobre ou alumínio que tenham espessuras de camada ≥ 2 mm.

As superfícies de aderência das barras foram usinadas a fim de deixá-las com uma classe de rugosidade 6 a 10 μm , parâmetro de rugosidade Ra (Rugosidade média), de acordo com a norma ISO 6280, as usinagens de preparação da base foram realizadas em duas operações devido ao curso da placa ser inferior a aproximadamente 13,0 mm, de acordo com as figuras 27 e 28.

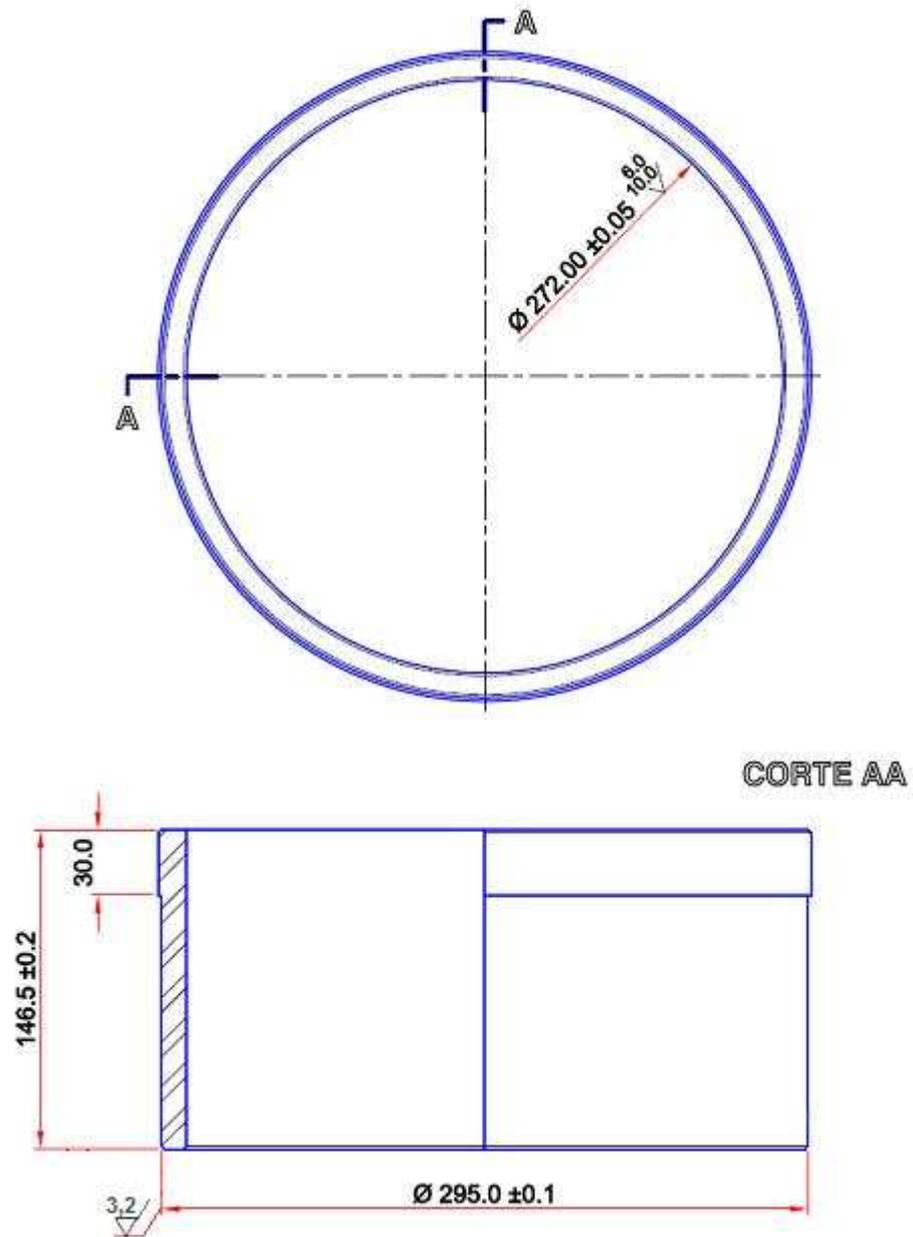


Figura 27- Croqui da usinagem da primeira operação da base.
Fonte: Elaborado pelo autor.

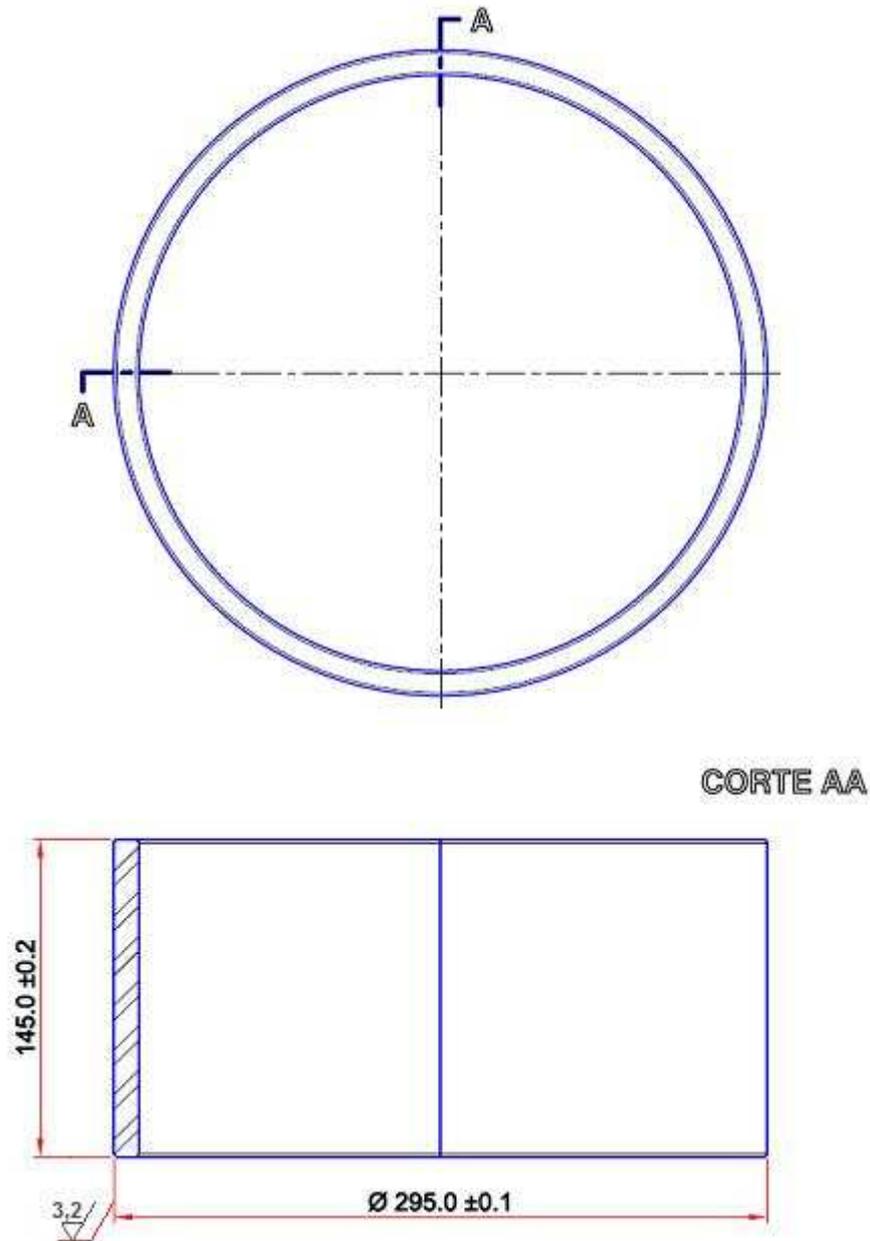


Figura 28- Croqui da usinagem da segunda operação da base.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma base anel A foi para o tratamento de decapagem, que consistiu de uma imersão de 3 minutos em volume de 50% de ácido clorídrico e 50% de água a frio, seguido de 2 minutos em volume de 10% de ácido nítrico e 90% de água a frio. Um mergulho final, por poucos segundos em água quente foi dado antes da escorificação e estanhagem.

A outra base anel B foi para o jateamento do diâmetro interno que foi realizado com granalhas de aço de 18 mesh. A pressão usada foi de 6 bar em um jateador CMV, tipo ar comprimido.

As duas bases foram então mergulhadas numa solução aquosa de fluxo contendo:

- Cloreto de zinco em pó – 25 kg
- Água –80 litros
- Ácido clorídrico – até atingir PH de 2 a 2,5

Em seguida os anéis foram para o estanhamento realizado a 370 °C, em banho contendo uma cobertura de fluxo efervescente ternária, com ingredientes sólidos:

- Cloreto de zinco – 7,3 kg
- Cloreto de sódio – 1,8 kg
- Cloreto de amônia – 0,9 kg



Figura 29- Estanhagem das bases.
Fonte: Elaborado pelo autor.

As bases estanhadas foram removidas do banho após aproximadamente 50 segundos.

3.2.3 Metalização

3.2.3.1 Metalização por centrifugação

O processo de metalização ocorreu por centrifugação horizontal no setor de fundição da Smagon, sendo realizadas em ambas as bases. A temperatura das peças foi mantida abaixo da temperatura da liga, cerca de 370 °C (base ABNT 1020) e 420 °C (liga ASTM B23 Liga 2). A introdução do metal patente nas bases de aço foi efetuada por um canal de descida do centrifugador em um tempo de 9 segundos.

Foi utilizada uma velocidade de rotação de 350 rpm, para que houvesse uma rápida solidificação com um mínimo de vibrações que não influenciasse na qualidade da peça o peso da liga em cada base ficou em 8,450 kg.

Após o derramamento do material, a solidificação ocorreu através do arrefecimento por água a 21 °C durante 15 segundos.



Figura 30- Metalização por Centrifugação dos Anéis.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Com as bases metalizadas, foi realizado um desbaste do diâmetro interno para efetuar o ensaio não destrutivo de ultrassom segundo norma ISO 4386-1 que especifica um método de teste ultra-sônico para determinação de falhas de aderência entre o metal antifricção e a base. O teste pode ser aplicado em mancais lisos multicamadas metálicas, com bases com boas propriedades de transmissão de

som (por exemplo, aço, ferro fundido) e revestidos com ligas antifricção à base de chumbo, estanho, cobre ou alumínio que tenham espessuras de camada ≥ 2 mm.

Pelo propósito desta parte da ISO 4386-1, o método de ultrassom somente permite uma avaliação qualitativa da ligação (ou aderência) e não uma determinação quantitativa da força de ligação, tal como especificado na ISO 4386-2.

Após a realização do ensaio não destrutivo de ultrassom, as duas bases passaram por acabamento dos diâmetros externo e interno. Em seguida foram sangrados 3 anéis de cada base usinada segundo figura 29.

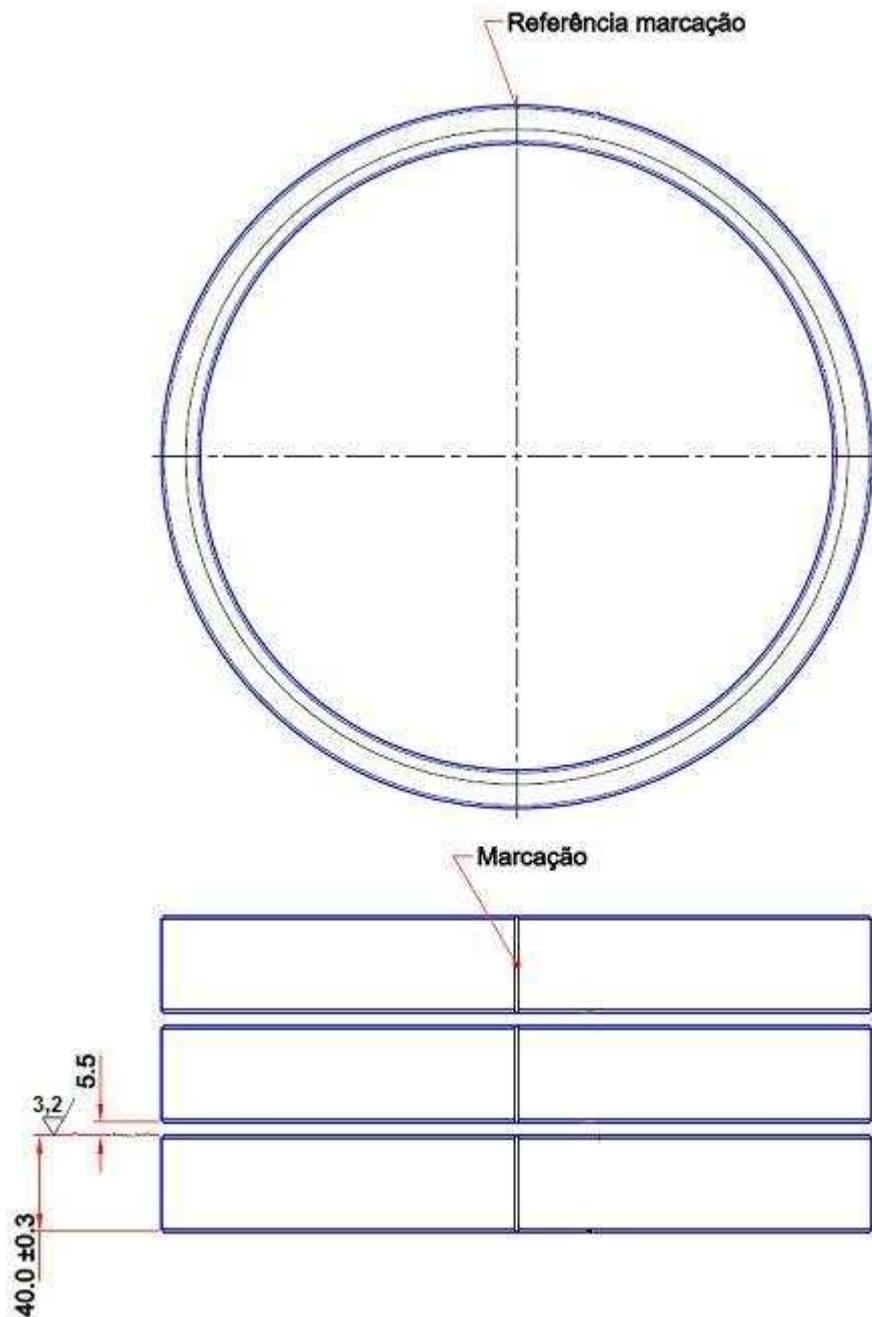


Figura 31- Croqui de sangria dos anéis.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Somente os anéis centrais foram utilizados e os outros anéis foram guardados para possíveis contra provas se necessários. De cada anel central foram cortados 18 segmentos conforme figura 30.

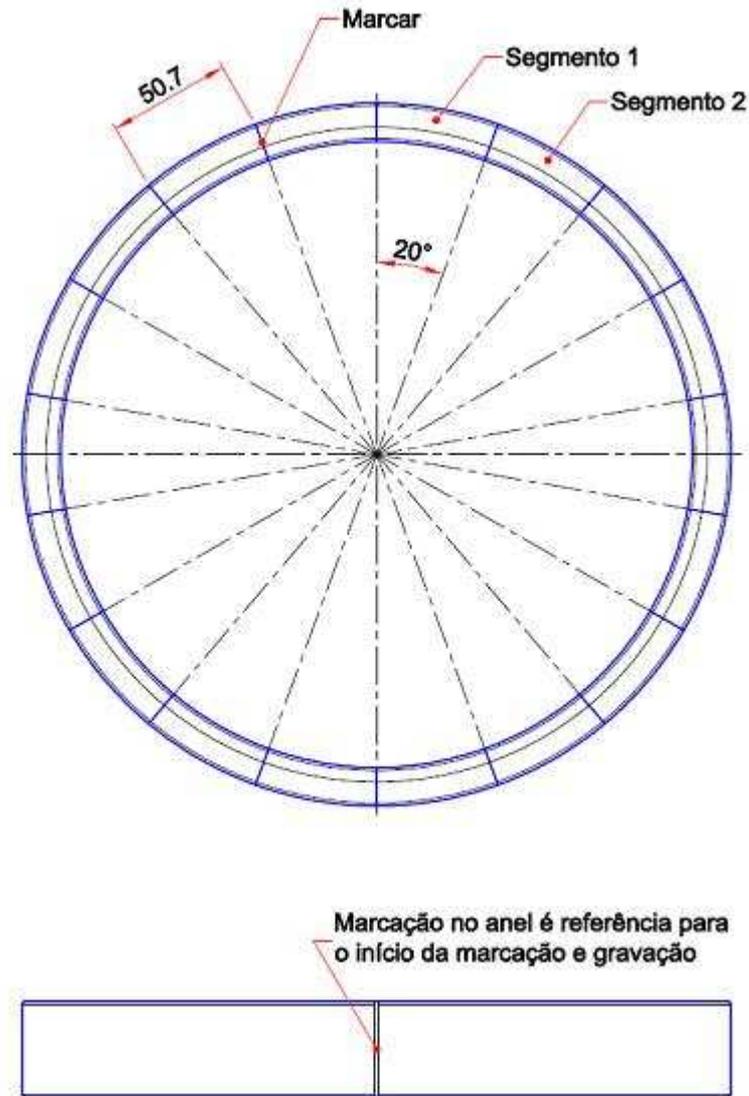


Figura 32- Croqui de sangria dos seguimentos do anel.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Estes segmentos forma usinados para dar forma ao corpo de prova para teste compressão conforme norma ISO 4386-2. O acabamento dos corpos de prova foi usinado em duas operações tomando como principal cuidado uma folga exigida de 0,1mm entre a superfície de aço e o metal patente conforme figura 31.

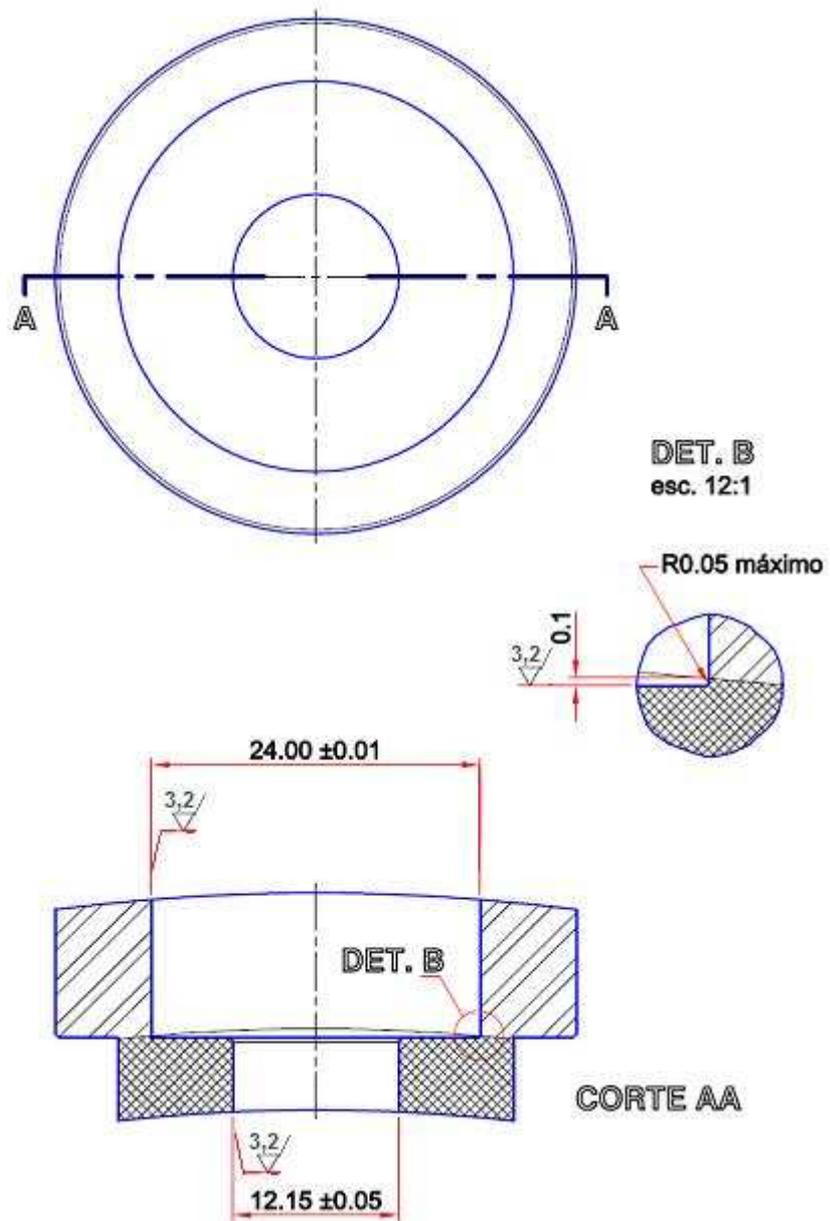


Figura 33- Croqui de usinagem da primeira operação do corpo de prova.
Fonte: Elaborado pelo autor.

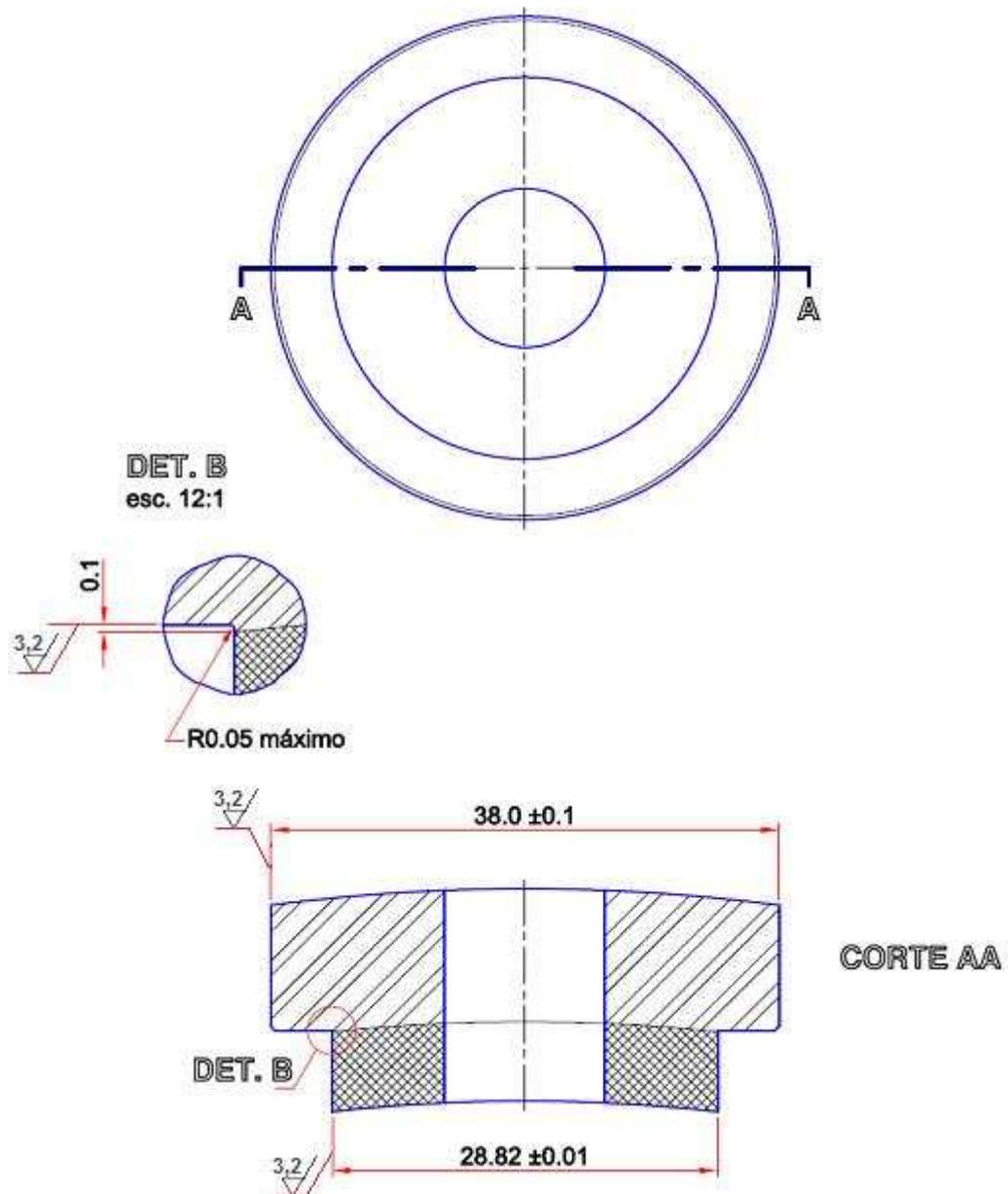


Figura 34- Croqui de usinagem da segunda operação do corpo de prova.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na usinagem dos segmentos, um corpo de prova foi descartado devido a não estar dentro das tolerâncias especificadas nos croquis. Em seguida as amostras foram levadas ao laboratório de ensaios mecânicos para teste de compressão conforme a norma ISO 4386-2.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em relação ao metal patente a análise no espectrômetro demonstra que a composição está dentro da norma (ASTM B23 liga 2), também comprovou-se que a dureza estava dentro do padrão (figura).

Tabela 5- Ensaio de dureza dos corpos de prova.

ENSAIO DE DUREZA DOS SEGMENTOS DECAPADOS		ENSAIO DE DUREZA DOS SEGMENTOS DECAPADOS	
CORPO DE PROVA	DUREZA (HB)	CORPO DE PROVA	DUREZA (HB)
CP 01	25	CP 01	24
CP 02	25	CP 02	25
CP 03	23	CP 03	25
CP 04	26	CP 04	21
CP 05	24	CP 05	22
CP 06	25	CP 06	22
CP 07	26	CP 07	25
CP 08	29	CP 08	25
CP 09	24	CP 09	26
CP 10	25	CP 10	24
CP 11	20	CP 11	25
CP 12	25	CP 12	25
CP 13	24	CP 13	25
CP 14	25	CP 14	25
CP 15	24	CP 15	23
CP 16	26	CP 16	23
CP 17	27	CP 17	24
CP 18	25		

Fonte: Elaborado pelo autor.

O teste de microscopia óptica demonstrou através da imagem visual e comparativa a formação do micro constituinte Cu_6Sn_5 , que é um composto intermetálico que apareceu disperso na amostra, rica em estanho.

No início da solidificação da liga o Cu_6Sn_5 se formou no líquido, sendo a partir desses compostos que ele vai solidificar.

Devido a morfologia desse composto intermetálico, durante uma solicitação mecânica eles poderão atuar como pontos concentrados de tensão. E sendo concentrado de tensão, poderão atuar como nucleadores de trincas. Ocasionalmente ocasionando uma redução da tenacidade à fratura do material. Contudo para comprovar a

formação do intermetálico seria necessária uma microscopia eletrônica de transmissão ou micro análise química.

Para a análise qualitativa da ligação foi realizado o ensaio não destrutivo por meio de ultra-som, utilizando um aparelho KRAUTKRAMER USM 20, cabeçote MSEB6HB, na frequência 6 Mhz, com sensibilidade de 54 db e acoplamento acústico por graxa, a calibração da escala horizontal foi feita por meio de bloco padrão, atendendo a espessura da peça a ser ensaiada.

A superfície examinada estava isenta de carepas, óxidos, graxas ou resíduos que pudessem interferir no ensaio durante a varredura. A superfície estava suficientemente limpa e lisa, para manter o eco de referência, no mínimo, a 50% da altura total da tela durante a varredura.

O pulso percorreu a espessura do metal se refletindo nas interfaces formadas pelo fundo e a superfície da peça, de forma contínua, isto é, o ultra-som emitido realizou no interior da peça um movimento de ida e volta, continuamente. Para cada incidência do ultra-som na superfície oposta de acoplamento do cristal, um sinal foi transmitido ao aparelho e um eco correspondente a este sinal foi visualizado na tela.

A figura 35 correspondente aos ensaios de ultra-som realizado nos anéis que sofreram tratamento por decapagem e jateamento respectivamente e metalização por centrifugação. Os anéis apresentaram-se aderidos.

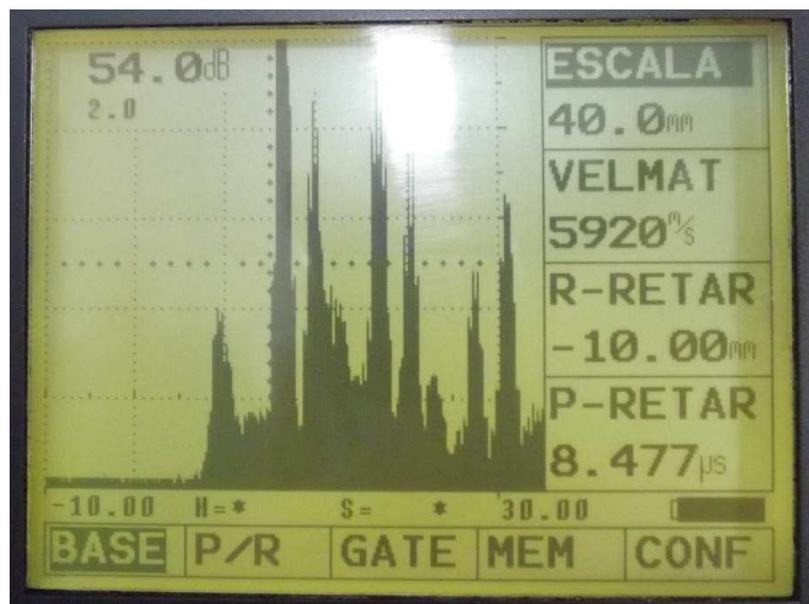


Figura 35- Ecos de aderência.
Fonte: Elaborado pelo autor.

Com relação a força de ligação, os resultados dos ensaios de compressão para as amostras feitas do anel decapado (figura 36) e para as amostras feitas do anel jateado (figura 37), demonstraram que ambos os tratamentos superficiais para receber o revestimento apontaram resultados satisfatórios de acordo com a norma ISO 4386-2. Demonstra-se também que os resultados dos ensaios com as peças decapadas, obtiveram menor variação, conseqüentemente uma melhor média na força de ligação em relação as peças jateadas que apresentaram uma variação maior na força de ligação.

UTFPR

LABORATÓRIO DE ENSAIOS MECÂNICOS

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL10000** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 6** Data: **05/11/2009** Hora: **14:28:14** Trabalho n° **0356**
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Smagon**
 Ident. Amostra: >> Solicitante: **Metalúrgica Santa Cecília** Material: **Mancal Liso SnSb8Cu4 Anel A** Norma: **ISO 4386/2**

Corpo de Prova	Test surface (mm ²)	Força Máxima (N)	Aderência Rch (MPa)
CP 1	200	10258.01	51.29
CP 2	200	11172.69	55.86
CP 3	200	11221.80	56.11
CP 4	200	11626.97	58.13
CP 5	200	12646.02	63.23
CP 6	200	12299.17	61.50
CP 7	200	11823.41	59.12
CP 8	200	11467.36	57.34
CP 9	200	11016.15	55.08
CP 10	200	11550.23	57.75
CP 11	200	11436.66	57.18
CP 12	200	12050.55	60.25
CP 13	200	12032.13	60.16
CP 14	200	10141.37	50.71
CP 15	200	9039.45	45.20
CP 16	200	8499.23	42.50
CP 17	200	10135.23	50.68
CP 18	200	11841.83	59.21
Número CPs	18	18	18
Média	200.0	11130	55.63
Desv. Padrão	0.0000	1111	5.555
Coef. Var. (%)	0.0000	9.987	9.987
Mínimo	200.0	8499	42.50
Máximo	200.0	12650	63.23

Força (kN)

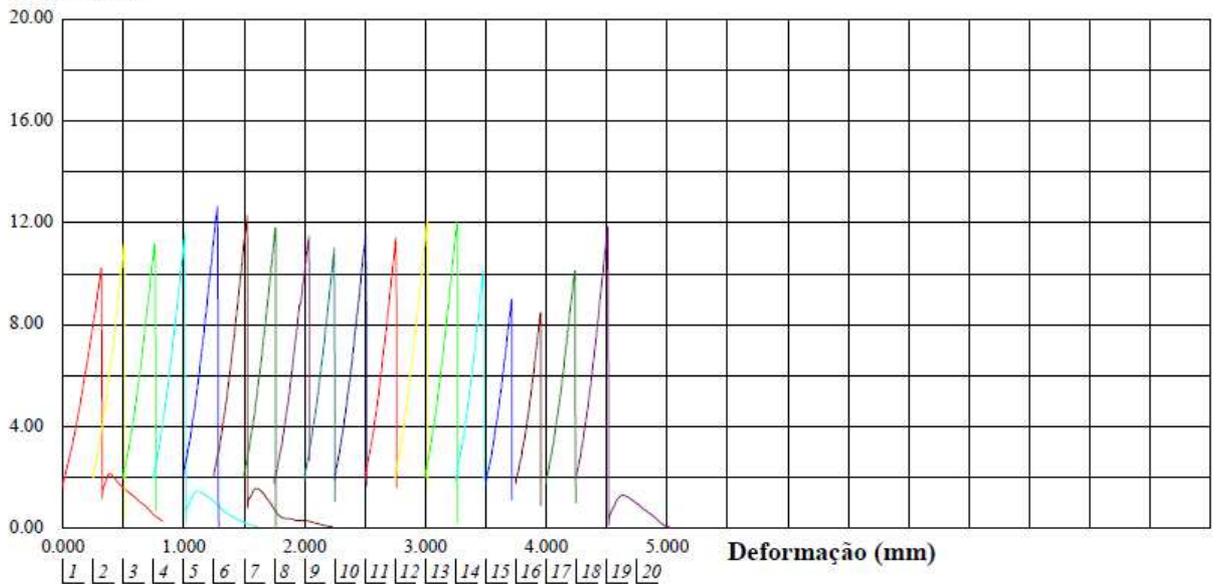


Figura 36- Resultado do ensaio de compressão dos segmentos decapados.
 Fonte: Elaborado pelo autor.

UTFPR

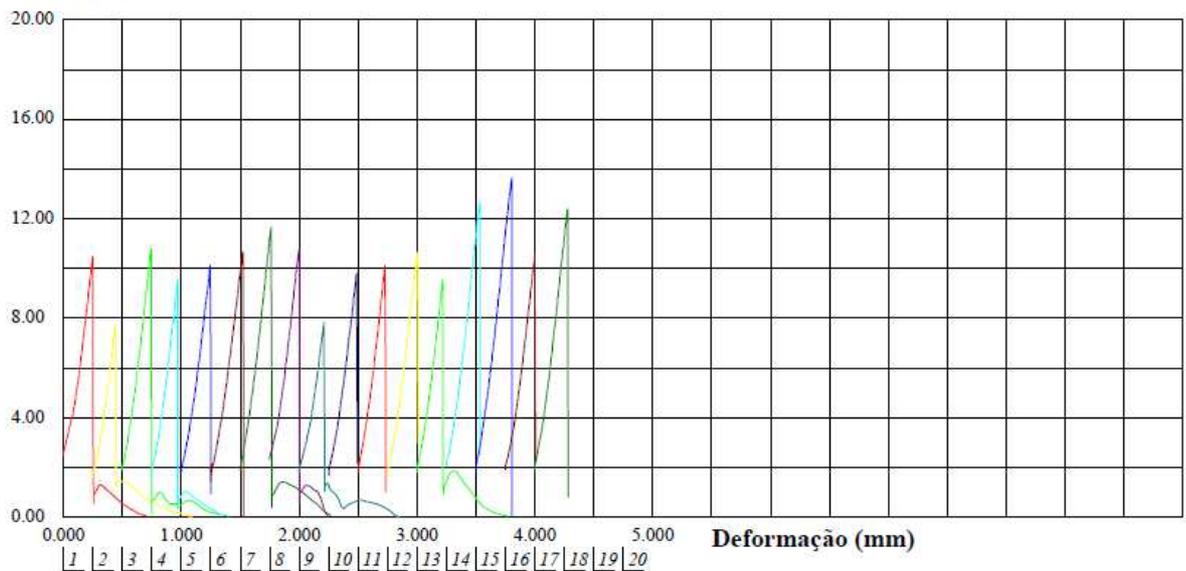
LABORATÓRIO DE ENSAIOS MECÂNICOS

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL10000** Célula: **Trd 28** Extensômetro: **Trd 6** Data: **05/11/2009** Hora: **15:08:19** Trabalho n° **0357**
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Compressão Smagon**
 Ident. Amostra: >>> Solicitante: **Metalúrgica Santa Cecília** Material: **Mancal Liso SnSb8Cu4 Anel B** Norma: **ISO 4386/2**

Corpo de Prova	Test surface (mm ²)	Força Máxima (N)	Aderência Rch (MPa)
CP 1	200	10497.42	52.49
CP 2	200	7750.29	38.75
CP 3	200	10816.64	54.08
CP 4	200	9561.25	47.81
CP 5	200	10147.51	50.74
CP 6	200	10669.31	53.35
CP 7	200	11703.70	58.52
CP 8	200	10798.22	53.99
CP 9	200	7848.51	39.24
CP 10	200	9828.29	49.14
CP 11	200	10144.44	50.72
CP 12	200	10653.96	53.27
CP 13	200	9595.01	47.98
CP 14	200	12692.06	63.46
CP 15	200	13655.86	68.28
CP 16	200	10632.48	53.16
CP 17	200	12409.67	62.05
Número CPs	17	17	17
Média	200.0	10550	52.77
Desv. Padrão	0.0000	1522	7.610
Coef. Var. (%)	0.0000	14.42	14.42
Mínimo	200.0	7750	38.75
Máximo	200.0	13660	68.28

Força (kN)



Observação: Os corpos de provas denominados 16 e 17 no gráfico, são referentes aos de número 17 e 18.

Figura 37- Resultado do ensaio de compressão dos segmentos jateados.
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Também foi possível detectar visualmente que algumas amostras decapadas mostravam resíduos de metal patente na superfície de ligação, sugerindo que o rompimento em alguns pontos não se deu na interface entre o babbitt e a base de aço. Também deve-se definir que o ponto crítico para falta de aderência é a oxidação da superfície de ligação e também que a estanhagem deve ser feita de maneira uniforme independente da peça a ser jateada ou decapada, pois a estanhagem serve como elemento de ligação entre o metal patente e a capa de aço.

5 CONCLUSÕES

Pode-se verificar através do estudo do processo de metalização por centrifugação, que os resultados dos ensaios das amostras foram satisfatórios atendendo ao valor de aproximadamente 10 N/mm² de força de aderência ou ligação entre metal patente e a capa de aço, indicados na norma ISO 4386/2-1982, tendo um valor médio de 11,13 N/mm² para as amostras que sofreram decapagem com ácido e menor variação da força de aderência entre as amostras na superfície de ligação. Para as amostras jateadas a média da força de ligação foi de 10,55 N/mm² e uma variação mais elevada entre as amostras. Percebeu-se que em algumas das amostras decapadas, no ensaio de tração, o rompimento não se deu na interface entre a base e o metal patente, ficando resíduos de metal patente no aço, demonstrando assim uma melhor taxa de aderência, indicando assim que a decapagem resulta em melhores resultados devendo ser adotado como etapa no processo de fabricação de peças que envolvam metalização com metal patente a base de estanho em capas de aço.

REFERÊNCIAS

ABM - Associação Brasileira de Metalúrgica, 1963. Pgs 123 e 128.

_____. **ASTM B23 - 00(2010)**: Standard Specification for White Metal Bearing Alloys. Estados Unidos, 2010.

_____. **DIN 50134**. Testing of metallic materials-Compression test of metallic cellular materials. Deutsches Institut Fur Normung E.V. (German National Standard), 2008, 13 pages.

_____. **ISO 6280:1981**. Plain bearings-Requirements on backings for thick-walled multilayer bearings.

_____. **ISO 4386-1:1992**. Plain bearings-Metallic multilayer plain bearings--Part 1: Non-destructive ultrasonic testing of bond

_____. **ISO 4386-2:1982**. Plain bearings-Metallic multilayer plain bearings--Part 2: Destructive testing of bond for bearing metal layer thicknesses greater than or equal to 2 mm.

_____. *Escola Politécnica*. **Processos de Fundição e Sinterização (Metalurgia do Pó)**. (DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA E SISTEMAS MECÂNICOS) USP, 2006.

_____. **Isaac Babbitt**. Disponível em <<http://www.dec.ufcg.edu.br/biografias/IsaacBab.html>>. Acesso em: 5 de Abril de 2012.

_____. **PNAPRI - Guia Técnico Sectorial dos Tratamentos de Superfície**. Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial (Departamento de Materiais e Tecnologias de Produção) , 2000.

_____. **Processos de Fabricação I. Processo de Fundição em Casca e Coquilha**. Escola de engenharia de piracicaba, fundação municipal de ensino, 2010.

ALONSO, Oscar Schutze, **Tratado Prático de Moldeo y Fundición**, Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1972.

Babbitt Bearing Alloys. Technology's Babbitt Casting Department. Disponível em < <http://www.frymetals.com/products/babbitt.html?product=babbitt>>. Acesso em 25 de Abril de 2012.

Forrester, P.G. M.Sc., A.I.M. **Babbitt Alloys for Plain Bearings**, Tin Research Institute. Kingston lane, Uxbridge, Middlesex, 1963.

Journal for surface treatments and finishing, **Incorporating metal finishing abstracts and printed circuits abstracts**, vol. 41, nº 4; Jul/Ago 1999.

Krautkramer, **Ultrasonic Testing of Materials**.

LEITE, Paulo G.P., **Curso de Ensaio Não Destrutivo**, Associação Brasileira de Metais-ABM , 8a. Edição 1966.

OLIVEIRA, N.C.G. **Mancais de deslizamento**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1960.

PINTO, Carla, FERNANDES, Ricardo, **Fundição em coquilha**, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2001

Springer, Karl b. **Funilaria Industrial. Tratado teórico-prático de caldeiraria**. Editora mestre jou, 1ª edição em português, 1963.

STOETERAU, R. L. **Comportamento Estático e Dinâmico de Mancais Aerostáticos Cilíndricos para Guias Lineares**. Florianópolis: UFSC, 1992. Dissertação.