

DESENVOLVIMENTO DE AÇO RELAMINADO ISENTO DE CHUMBO PARA FABRICAÇÃO DE CHAVES¹

Daniel Augusto Ferro²

André Sereno Lopes³

Marcos Domingos Xavier⁴

Carlos Alberto Marchiol⁵

Resumo

O aço 11S Mn Pb30 e o latão ao chumbo são materiais de aplicação vigente na produção de chaves de uso geral, isto é, aplicadas em edificações, indústria automotiva; etc. Ambos apresentam restrições legislativas, decorrentes da agressividade do chumbo à saúde humana e ao meio ambiente. O custo elevado do latão torna-o ainda pouco atraente ao mercado em comparação ao aço. A presente pesquisa visou desenvolver aço sem chumbo para atender as empresas fabricantes de chaves, garantindo-lhes a satisfação quanto ao processo produtivo e ao atendimento aos itens da norma técnica ABNT NBR 14913:2011. A gestão técnico-financeira do referido projeto foi conjunta entre a empresa Brasmetal Waelzholz S/A, fornecedora da matéria prima em chapas, e o SENAI Nadir Dias de Figueiredo. Adicionalmente, a etapa experimental foi executada diretamente nas instalações de empresa Yale la Fonte S/A, produtora do referido bem de consumo. O aço 11SMn30Sn, definido como base de estudo, foi comparado com o aço 11SMnPb30 e com o latão ao chumbo. A usinabilidade, avaliada pelo desgaste das ferramentas de corte, e os requisitos de uso das chaves conforme norma técnica anteriormente citada, basicamente torque e desgaste por inserção no tambor das fechaduras, foram considerados. O desempenho do aço 11SMn30Sn, mostrou-se bastante satisfatório à empresa produtora de chaves quanto à usinabilidade e atendeu os requisitos de uso especificados pela norma técnica supra citada, estando apto à substituição do aço e do latão ao chumbo atualmente utilizados.

Palavras-chave: Usinabilidade; Aços com e sem chumbo; Chaves.

APPLICATION OF NON-LEADED PLANE STEEL TO PRODUCTION OF KEYS

Abstract

Steel or brass alloyed with Pb is currently used to production of components which are typically machined. For the purpose of this paper we will consider the application of these materials to production of keys to housewares or cars. Aim of this research was to analyze the performance of a non-leaded steel according to standard ABNT NBR 14913:2011. The performance from steel grade 11SMn30Sn, showed very good results to the production of keys and fulfilled all the requisites of the Brazilian standard. These steel grades are suitable for the substitution of leaded brass or leaded steel.

Key-words: Machinability; Steels with and without lead; Keys.

¹ *Contribuição técnica ao 50º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 18 a 21 de novembro de 2013, Ouro Preto.*

² *Engenheiro Mecânico, Engenheiro de Desenvolvimento de Produto da Brasmetal Waelzholz S/A. São Paulo, SP, Brasil.*

³ *Mestre em Metalurgia, Gerente de Desenvolvimento de Produto da Brasmetal Waelzholz S/A. São Paulo, SP, Brasil.*

⁴ *Engenheiro Metalurgista, M.Sc; Técnico de Ensino do SENAI e Professor da Fatec-SP. São Paulo, SP, Brasil.*

⁵ *Administrador de Empresas; Técnico de Ensino do SENAI 1.19. São Paulo, SP, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

1.1 Bronzes e Latões Contendo Chumbo

O cobre e a maior parte das ligas simples de cobre tem má usinabilidade. No entanto, quando uma pequena quantidade de chumbo for adicionada, passam a ser facilmente usináveis. Desde que a maioria das aplicações de ligas de cobre envolvem a usinagem, o uso de ligas de cobre contendo chumbo é comum e importante. O chumbo também melhora a moldabilidade das ligas de cobre de uma maneira geral, e é praticamente indispensável em ligas para mancais.

1.2 Constituição das Ligas Cobre-Chumbo

As solubilidades do cobre no chumbo sólido e do chumbo no cobre sólido são muito baixas.⁽¹⁾ Portanto, a fase α é constituída praticamente de cobre puro e a fase β , de chumbo puro, sendo muito mole e dúctil.

1.2.1 Microestrutura das ligas cobre-chumbo

A liga monotética é composta de ilhas do constituinte eutético rico em chumbo distribuídas em toda a matriz da fase α . Este tipo de microestrutura resulta da reação a 954°C, onde o líquido rico em cobre decompõe-se isotermicamente em cobre quase puro e ilhas de líquido rico em chumbo. Este líquido rejeita certa quantidade adicional de fase α durante o resfriamento até 326°C, quando finalmente solidifica como um eutético composto de 99,94% Pb e 0,06% Cu (em outras palavras, Pb quase puro).⁽¹⁾

Em ligas contendo menos que 41% Pb a formação de fase α primária precede a reação monotética. A reação monotética fica confinada aos espaços interdendríticos.⁽¹⁾ Devido à baixa solubilidade do Pb no Cu, as ilhas de Pb praticamente puro aparecem na microestrutura assim que uma pequena quantidade de Pb for adicionada à liga.

1.3 Propriedades das Ligas de Cobre Contendo Chumbo

1.3.1 Usinabilidade de ligas cobre-chumbo

O processo de usinagem e os fatores que contribuem para o mesmo são de difícil interpretação. O cobre puro e muitas ligas binárias são difíceis de serem usinados em virtude do metal ser “pastoso”, formar cavacos longos; tender a deformar-se sob a pressão da ferramenta no lugar de cortar; produzir muito calor e tender a acumular-se sobre o fio cortante da ferramenta. Quando houver chumbo os cavacos quebram em pequenos pedaços mantendo a ferramenta livre; menos calor é gerado e a peça usinada não tende a distorcer. O exato funcionamento do chumbo nunca foi descoberto em detalhes. Alguns autores supõem que as ilhas de chumbo fornecem descontinuidades que enfraquecem o metal e, portanto, facilitam a quebra dos cavacos. Entretanto, o Cu_2O , o qual tem exatamente a mesma morfologia na microestrutura não é tão eficiente. Outros autores propõem que o cobre é momentaneamente fragilizado no local enquanto que a face da ferramenta é lubrificada pelo chumbo. Esta hipótese é inteiramente especulativa.

1.3.2 Efeito do chumbo sobre a ductilidade

O diagrama Cu-Pb encontrado na literatura^(1,2) indica que ocorre a formação de eutético de baixo ponto de fusão, sendo as ligas contendo chumbo muito susceptíveis a fragilidade a quente. Por outro lado, muito embora o chumbo seja extremamente dúctil, a grande diferença de dureza entre a matriz α e o Pb prejudica sensivelmente a ductilidade.

2. Ligas Cobre – Zinco – Chumbo

2.1 Constituição das Ligas Cu-Zn-Pb

A estrutura das ligas Cu-Zn-Pb é muito simples. É composta da estrutura das ligas binárias Cu-Zn, com partículas arredondadas de chumbo inseridas interdendriticamente nos pontos que solidificaram por último.^(1,2) Os efeitos do Pb sobre as ligas Cu-Zn são essencialmente os mesmos observados no caso da adição de Pb ao Cu puro. Quando o latão é deformado plasticamente, as partículas de chumbo são redistribuídas.^(1,2)

2.2 Propriedades dos Latões ao Chumbo

A adição de chumbo no sentido de melhorar a usinabilidade acarreta sacrifício da ductilidade e resistência a alta temperatura.^(1,2) As ligas destinadas a estampagem profunda ou outras operações de conformação pronunciada, assim como ligas destinadas à deformação a quente, brasagem ou soldagem devem conter pouco ou nenhum Pb. Algumas vezes deve existir um compromisso entre a usinabilidade e a capacidade de deformação plástica. Um exemplo interessante é o caso da válvula para câmara de ar de pneumáticos. Estas peças tubulares devem ser trefiladas e, posteriormente, devem ser usinadas roscas nas superfícies externas e internas. Neste caso, o teor em chumbo é aumentado até o limite que não provoque ainda perdas excessivas durante a operação de trefilação. Neste exemplo é utilizado aproximadamente 0,5%Pb.

Dentro de uma pequena variação no teor de zinco, 35 a 38%, os latões ao chumbo podem ser deformados a quente se o teor em Pb não exceder a 1%. Quando o Pb exceder 1,5%, os latões α devem ser deformados apenas a frio, com recozimentos intermediários.

No caso de latões com maior teor em zinco, caso dos bifásicos $\alpha + \beta$. A deformação plástica é realizada por extrusão ou forjamento em matriz fechada pois são processos que não provocam tensões de tração durante a operação de deformação, diminuindo a susceptibilidade a trincas. Em todos os casos, os latões ao chumbo são sujeitos a trincas ao fogo, devendo ser cuidadosamente aquecidos durante o recozimento.

2.3 Aços de Alta Usinabilidade

Segundo Chiaverini,⁽³⁾ a introdução de inclusões não metálicas ou metais de baixa dureza (Chumbo; Bismuto) melhora a usinabilidade dos aços. Aços de usinagem fácil são aqueles em que se introduzem, de modo controlado, inclusões não metálicas ou metais moles.

Inclusões não metálicas

- Inclusão de sulfeto de manganês (MnS): favorecem a usinabilidade porque causam a formação de um cavaco quebradiço e atuam como uma espécie de lubrificante, impedindo que o cavaco adira à ferramenta e destrua o seu gume cortante.
- O alumínio atua no mesmo sentido.
- Em alguns tipos de aço de baixo carbono, pode-se introduzir fósforo além dos teores normais, pois esse elemento promove a ruptura dos cavacos na usinagem.

Adição de chumbo

- A adição de chumbo melhora a usinabilidade dos aços-carbono.
- O aço com chumbo deve ser utilizado em temperaturas baixas, pois o chumbo funde a 260°C.

Adições de outros metais

- Outras adições têm sido experimentadas para melhorar a usinabilidade dos aços. Entre elas, selênio e telúrio, adicionados em porcentagens de 0,04 ou 0,05%.
- Estes elementos químicos não tiveram o êxito esperado, pois o custo de seu emprego é alto e eles podem provocar gases tóxicos.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Composições Químicas e Propriedades Mecânicas

As composições químicas e as propriedades mecânicas do latão e do aço 11S Mn Pb30 são indicadas nas Tabelas 1 a 5. O aço 11 S Mn 30 Sn tem também suas propriedades mecânicas indicadas pelas Tabelas 4 e 5.

Tabela 1. Composição química (% peso) do latão

Cu	Zn	Pb	Sn	Fe
64,4	34,5	1,03	0,0053	0,0105

Tabela 2. Propriedades mecânicas do latão

LR (MPa)	LE (MPa)	A80(%)
543	465	5,26

Tabela 3. Composições químicas (% peso) dos aços

Aço	Composição química (% peso)							
	C	Mn	P	S	Si	Al	Cu	Cr
11SMnPb30	0,0829	1,02	0,0186	0,132	0,012	0,004	0,0163	0,049
	Ni	Mo	Ti	Nb	V	Pb	W	Sn
	0,0528	0,0288	0,0003	0,0005	0,0011	0,18	0,0018	-----

Tabela 4. Propriedades mecânicas dos aços

Aço	LR (MPa)	LE (MPa)	AI 80 (%)
11SMn30Sn	495	477	4,85
11S Mn Pb30	478	450	1,27

Tabela 5. Durezas HRA comparativas do latão e dos aços

Latão	11 S Mn Pb30	11SMn30Sn
47,6	43,0	44,8

3.2 Microestruturas Ópticas

As microestruturas ópticas dos materiais sob estudo são mostradas nas Figuras 1 a 3.

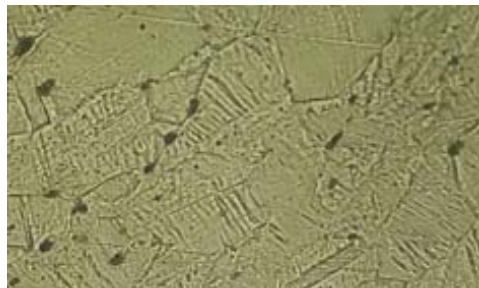


Figura 1. Latão (500 X), com reativo cloreto férrico.

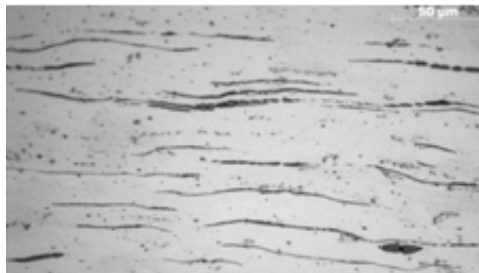


Figura 2. Aço 11S Mn Pb30 (500X), polido.

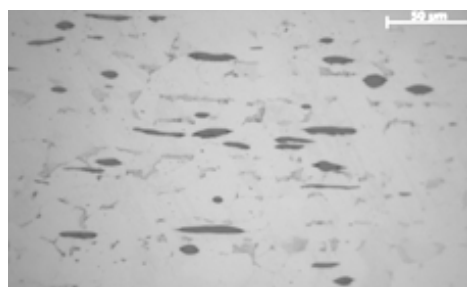


Figura 3. Aço 11SMn30Sn (500 X), polido.

O uso de analisador de imagens permitiu a caracterização das inclusões presentes nos aços e no latão. Adicionalmente, as microestruturas foram analisadas também com microsonda eletrônica, constituída de microscópio eletrônico de varredura (MEV) e analisador EDS, considerando o sentido transversal de laminação.

3.3 Testes de Usinabilidade

Os testes de usinabilidade do latão e dos aços sob estudo basearam-se no desgaste das ferramentas, avaliado pelo método gravimétrico. Foram executadas

as pesagens das ferramentas antes e após os testes de usinagem. Adicionalmente, providenciou-se a instalação do inversor de frequências na máquina de usinagem das chaves para permitir a variação da rotação da ferramenta e conseqüentemente, da velocidade de corte.

A Tabela 6 traz os parâmetros de usinagem utilizados na usinagem do latão e dos dois aços sob investigação. A velocidade de corte 330 m/min, utilizada comumente na usinagem do latão foi tomada como base de estudo. Foi reduzida e aumentada em 20 % de seu valor. O avanço da ferramenta, de valor 2,2 m/min., foi mantido constante em todas as usinagens.

Tabela 6. Parâmetros de usinagem do latão e dos aços

Velocidade de corte (m/min)	Frequência		Avanço (m/min)
	(Hz)	(RPM)	
264	48	2402	2,2
330	60	3000	
396	72	3603	

3.4 Testes de Torque e de Desgaste

As chaves foram avaliadas quanto às condições de uso conforme a norma técnica NBR 14913.⁽⁴⁾ Basicamente, são efetuados ensaios de torque e de desgaste.

- Torque

As chaves foram submetidas a um esforço de torque para verificar as suas resistências ao manuseio, simulando o esforço gerado ao rotacioná-las até o fim de curso.

A chave da fechadura de embutir tipo externa e de perfil estreito deve resistir a um momento de 2,5 N.m, aplicado a sua cabeça, durante 5 s, conforme o item 7.12, anexo L da norma técnica NBR 14913.⁽⁴⁾

A Figura 4 mostra o teste de torque das chaves

- Desgaste

As chaves foram colocadas e retiradas do tambor da fechadura para avaliação do desgaste em uso. Devem resistir a 120.000 ciclos de inserção relativos a tráfego intenso, conforme item 7.11 da norma técnica NBR 14913.⁽⁴⁾

A Figura 5 ilustra o teste de inserção cíclica das chaves no tambor da fechadura.



Figura 4. Avaliação de desempenho via torque.

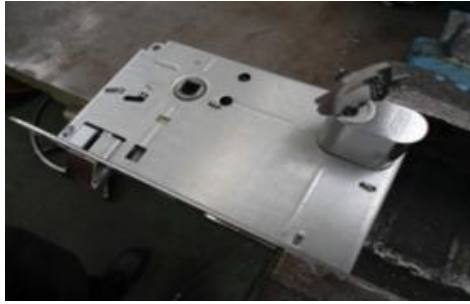


Figura 5. Teste de inserção cíclica das chaves.

4 RESULTADOS

4.1 Microestruturas e Microanálises do Latão

A microestrutura da liga Cu- 34,5 Zn- 1,03 Pb é composta da fase α (Solução sólida Cu-Zn, rica em cobre) e da fase β (rica em Pb). A porcentagem volumétrica relativa da fase β é 10 % máximo, cuja morfologia aproximadamente elíptica é visualizada nas Figuras 1 e 6. As Figuras 7 e 8 trazem as microanálises executadas via analisador de energia EDS acoplado ao MEV, considerando-se duas regiões do latão ao chumbo, indicadas como A e B na Figura 6. A região A, relativa às inclusões, é rica em chumbo. A região B, relativa à matriz, refere-se aos elementos característicos do latão, ou seja, cobre e zinco.

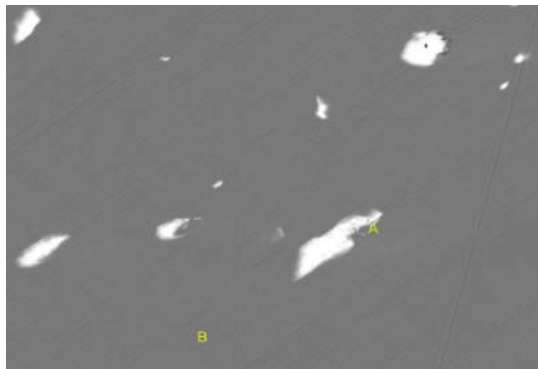


Figura 6. Microestrutura do latão MEV – 3000 X. As regiões A e B foram analisadas via EDS.

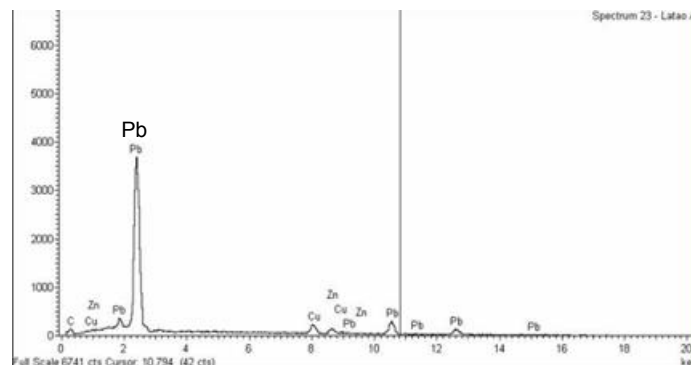


Figura 7. Microanálise (EDS) da região A (inclusões) do latão ao chumbo.

Cu
Zn

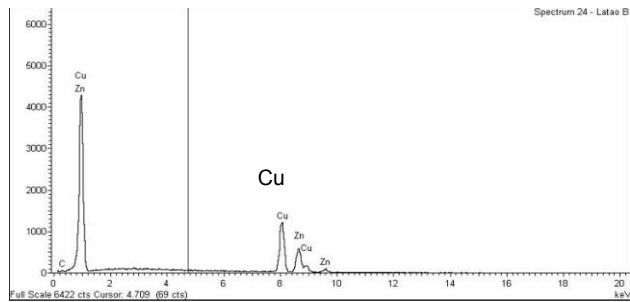


Figura 8. Microanálise (EDS) da região B (matriz) do latão ao chumbo.

4.2 Microestruturas e Microanálises dos Aços

As micrografias oriundas de microscopia óptica, ilustradas anteriormente e submetidas ao analisador de imagens bem como aquelas da microscopia eletrônica de varredura com uso de microanálise, conforme abaixo, possibilitam as seguintes observações:

- As amostras do aço 11SMn30Sn apresentam inclusões elípticas com eixo maior variando entre 10 a 40 micrometros na direção de laminação e cuja fração volumétrica desta fase em relação à matriz situa-se em 15 %, conforme a Figura 6. As microanálises via microsonda eletrônica, ou seja, MEV com auxílio do analisador de dispersão de energia (EDS), conforme as Figuras 9 a 1, permitiram observar a presença de sulfetos nestes aços, basicamente, sulfetos de manganês.
- As amostras do aço 11S Mn Pb30 possuem inclusões lineares, alongadas na direção de laminação, com comprimentos variando desde 25 até 200 micrometros, podendo-se assumir o valor médio 100 micrometros e a fração volumétrica desta fase situa-se em 20 %, conforme análise da Figura 2. As microanálises, conforme as Figuras 12 a 15, permitiram observar regiões ricas em chumbo e também, sulfetos de manganês nestes aços.

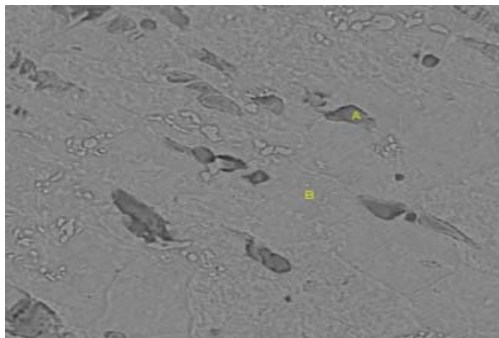


Figura 9. Regiões do aço 11SMn30Sn (MEV – 3000 X) analisadas via EDS.

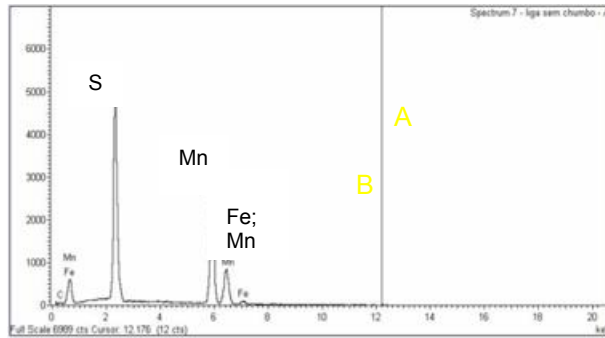


Figura 10. Microanálise (EDS) da região A do aço 11SMn30Sn.

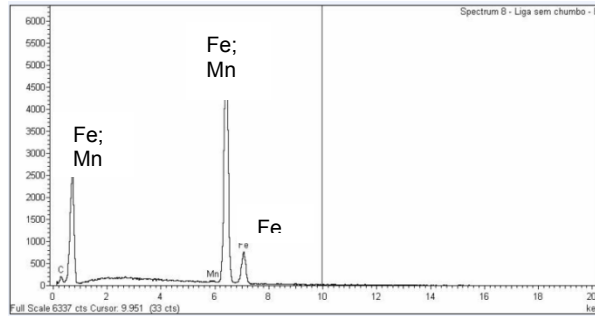


Figura 11. Microanálise (EDS) da região B do aço 11SMn30Sn.

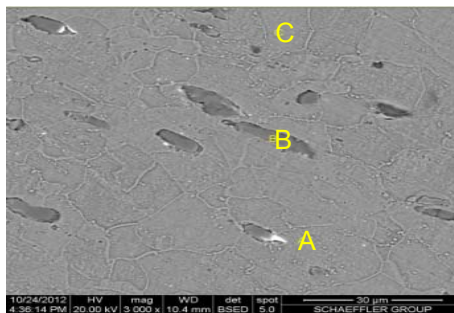


Figura 12. Regiões do aço 11S Mn Pb30 (MEV – 3000 X- corte transversal) analisadas via EDS.

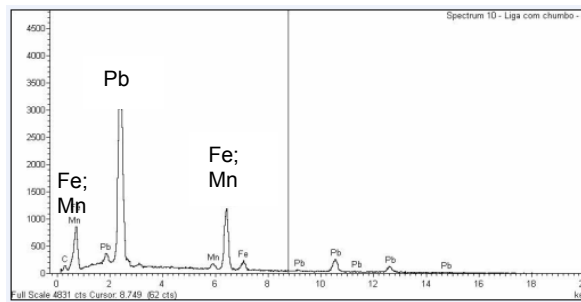


Figura 13. Microanálise (EDS) da região A do aço 11S Mn Pb30.

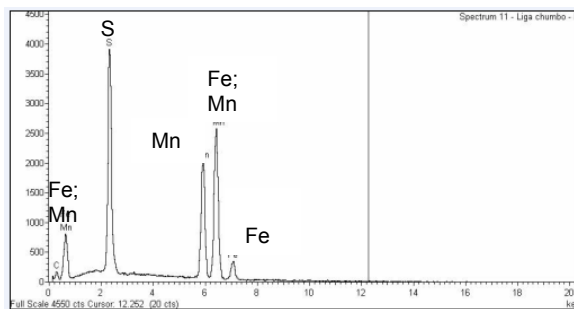


Figura 14. Microanálise (EDS) da região B do aço 11S Mn Pb30.

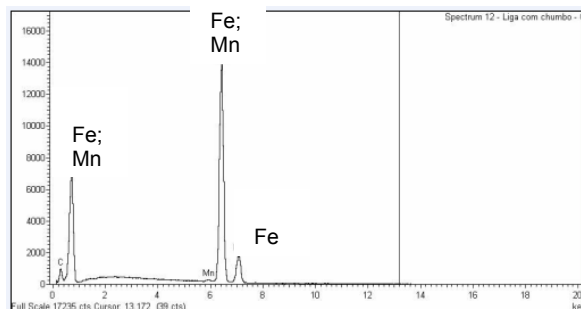


Figura 15. Microanálise (EDS) da região C do aço 11S Mn Pb30.

4.3 Testes de Usinabilidade

4.3.1 Latão

O teste de usinabilidade do latão foi executado com ferramentas novas, enumeradas como 160023.0 e 160024.0. A velocidade de corte de referência foi definida em 330 m/min. Adicionalmente, foi aplicada a velocidade de corte 20 % além e a seguir, 20 % aquém da velocidade de referência. Foram usinadas 1.000 peças em cada velocidade. Em todos os casos, as ferramentas não apresentaram desgaste, conforme a Tabela 7, e também não ocorreram aderências de cavacos nas ferramentas, conforme análises visuais.

Tabela 7. Pesagens iniciais e finais das ferramentas de corte considerando a velocidade de Corte 330 m/min e a usinagem de 1000 peças

Latão – velocidade de corte 330 m/min			
Peso inicial (gramas)		Peso final (gramas)	
160023.0	160024.0	160023.0	160024.0
Média: 41,220 g	Média: 42,280 g	Média: 41,221 g	Média: 42,285 g
Latão – velocidade de corte 396 m/min			
Peso inicial (gramas)		Peso final (gramas)	
160023.0	160024.0	160023.0	160024.0
Média: 41,221 g	Média: 42,285 g	Média: 41,223 g	Média: 42,287 g
Latão – velocidade de corte 264 m/min.			
Peso inicial (gramas)		Peso final (gramas)	
160023.0	160024.0	160023.0	160024.0
Média: 41,223 g	Média: 42,287 g	Média: 41,225 g	Média: 42,289 g

4.3.2 Aço 11S Mn Pb30

O teste de usinabilidade do material 11S Mn Pb30 foi realizado em lote de 1000 peças considerando a velocidade de corte 330 m/min e ferramentas novas, enumeradas como 160025.0 e 160026.0. As duas ferramentas apresentaram desgaste visual e perda da afiação conforme a figura 16. Adicionalmente, houve aderência de cavaco às mesmas. O acabamento das chaves com velocidade de 330 m/min foi considerado normal.

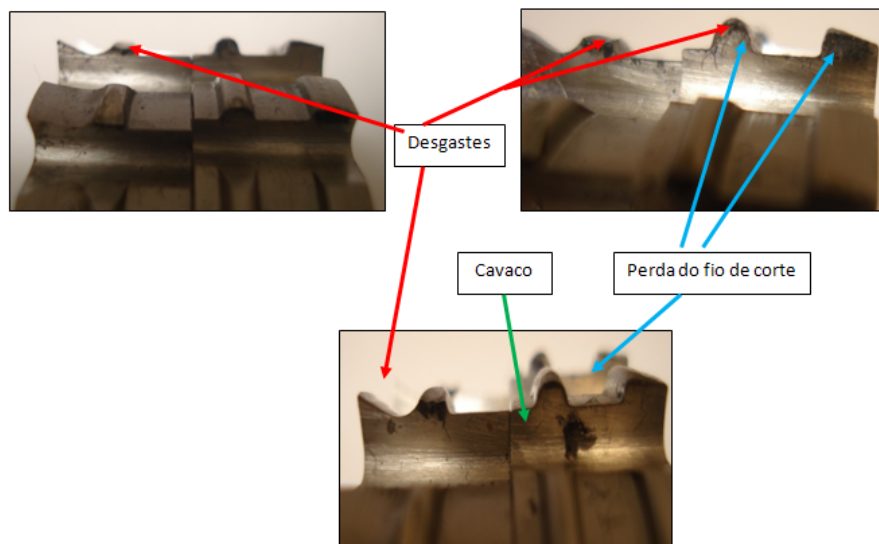


Figura 16. Desgaste das ferramentas usadas na usinagem do aço 11S Mn Pb30 considerando velocidade de corte 330 m/min.

4.3.3 Aço 11SMn30Sn

A usinagem de 1000 chaves com a liga 11SMn30Sn foi efetuada inicialmente com a velocidade de corte 330 m/min e ferramentas novas, enumeradas como 160027.0 e 160028.0. A seguir, foram também aplicadas as velocidades de corte 396 e 264 m/min., respectivamente. Não houve desgaste das ferramentas, conforme evidenciado na tabela 8, e visualmente não ocorreu a aderência de cavacos. O acabamento das chaves foi considerado normal em todas as velocidades de corte aplicadas ao aço 11 S Mn 30 Sn. A velocidade 396 m/min exigiu um pouco mais do equipamento, notado pela vibração apresentada.

Tabela 8. desgaste das ferramentas usadas na usinagem do aço 11SMn30Sn considerando velocidades de corte 264, 330 e 396 m/min

velocidade de corte 330 m/min			
Peso inicial (gramas)		Peso final (gramas)	
160027.0	160028.0	160027.0	160028.0
Média: 40,473 g	Média: 42,439 g	Média: 40,474 g	Média: 42,440 g
velocidade de corte 396 m/min			
Peso inicial (gramas)		Peso final (gramas)	
160027.0	160028.0	160027.0	160028.0
Média: 40,474 g	Média: 42,440 g	Média: 40,476 g	Média: 42,442 g
velocidade de corte 264 m/min			
Peso inicial (gramas)		Peso final (gramas)	
160027.0	160028.0	160027.0	160028.0
Média: 42,476 g	Média: 42,442 g	Média: 42,479 g	Média: 42,451 g

4.4 Testes de Torque e de Desgaste Via Inserção

4.4.1 Testes de torque

O torque 2,5 N.m foi aplicado durante 5 s. Deformações ou rupturas iniciais não foram evidenciadas. Assim, o aço 11SMn30Sn foi aprovado nesta intensidade de torque. O torque 4,5 N.m gerou deformação plástica e ruptura inicial das chaves de todos os materiais pesquisados.

É importante salientar que a norma técnica específica NBR 14913:2011,⁽⁴⁾ item 7.12 não estabelece o torque máximo admissível para chaves e não vincula as intensidades de torque com o tipo de material ou com faixas de propriedades mecânicas. Essa norma exige o atendimento a torque de 2,5 N.m por 5 segundos sem o rompimento das chaves.

4.4.2 Testes de desgaste via inserção

Os testes de inserção de todos os materiais testados foram interrompidos com 134.000 ciclos. Nesta condição, avarias não ocorreram. Desta forma, houve aprovação do aço 11SMn30Sn, pois a norma exige resistência ao desgaste de 120.000 ciclos, considerando-se tráfego intenso conforme norma NBR 14913:2011.⁽⁴⁾

5 DISCUSSÃO

Os aços 11S Mn Pb30 e 11SMn30Sn apresentaram inclusões de sulfeto de manganês de acordo com as análises de EDS realizadas. Tais inclusões são intensamente deformadas na região secundária de cisalhamento, ilustrada na figura 17, e contribuem à minimização do desgaste das ferramentas de corte inicialmente porque aderem às suas superfícies^(5,6) atuando como lubrificantes. Adicionalmente, a proteção das ferramentas contra o desgaste via difusão atômica do material usinado também ocorre.

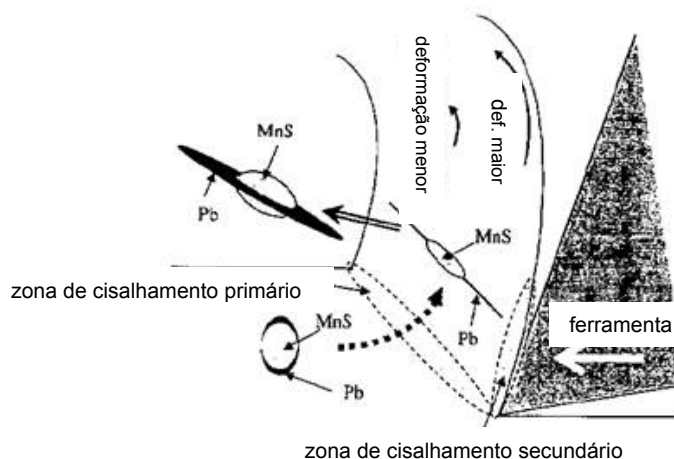


Figura 17. Diagrama esquemático da região de cisalhamento na usinagem de aço ao chumbo.⁽⁵⁾

A morfologia elíptica das inclusões é mais favorável para a usinagem em comparação com a morfologia alongada.⁽⁷⁾ Este aspecto foi verificado no latão e no aço 11SMn30Sn resultando em menor desgaste das ferramentas. Adicionalmente, acredita-se ainda que a morfologia elíptica das inclusões diminua a anisotropia relativa à usinabilidade porque devem conduzir à maior homogeneidade de propriedades mecânicas nas direções DL (laminação) e DT (transversal à direção de laminação).

As propriedades mecânicas dos aços com chumbo 11S Mn Pb30 e sem chumbo 11SMn30Sn são muito similares com exceção ao alongamento do aço sem chumbo que é maior. Já o latão apresentou limite de resistência acima do encontrado nos aços com e sem chumbo o que denota menor usinabilidade devido o aumento na tensão de cisalhamento e conseqüentemente na pressão específica de corte K_s .⁽⁸⁾ O estudo da morfologia e distribuição das inclusões de sulfeto de manganês é um fator importante às características de usinabilidade da liga 11SMn30Sn. Esta é uma sugestão para trabalhos futuros.

6 CONCLUSÕES

- O aço 11SMn30Sn mostrou-se adequado à fabricação de chaves residenciais
- As inclusões tipo sulfeto melhoram a usinabilidade do material e reduzem o desgaste das ferramentas.
- A morfologia elíptica das inclusões é mais favorável à usinabilidade que a morfologia alongada
- O estudo da precipitação mais fina das inclusões do aço 11SMn30Sn é um fator indicado para estudo de melhoria da usinabilidade.
- As velocidades de 264 e 330 m/min. mostraram-se adequadas à usinagem da liga 11SMn30Sn.
- O torque e a ciclagem para verificação do desgaste por inserção das chaves de aço 11SMn30Sn atenderam plenamente os requisitos da norma técnica NBR 14913:2011

Agradecimentos

Os autores agradecem a empresa Yale la Fonte, em especial ao seu Diretor Industrial, Sr Flávio Carrasco, pelo apoio irrestrito quanto ao desenvolvimento do produto nas linhas de produção e nos laboratórios da empresa. Agradecem também às direções do Senai 1.19 e da Brasmetal Waelzholz S/A pela indicação dos membros da equipe para condução deste projeto de inovação tecnológica e pelo suporte técnico-financeiro.

REFERÊNCIAS

- 1 Finard, J. apostilas da disciplina: Metalografia e Tratamentos Térmicos dos Metais Não Ferrosos- E.E.U.Mackenzie – São Paulo, Abril 1982
- 2 Metals Handbook – vols 1, 2,7,8 – American Society for Metals
- 3 Chiaverinni, V. Aços e Ferros Fundidos – São Paulo , 2008
- 4 ABNT NBR 14913:2011 – Fechadura de Embutir – requisitos, classificação e métodos de ensaio – 2011 – ABNT, SP
- 5 Watari,K. , Fujiwara,J. - Effect of Inclusions on Machinability of Carbon Steels for Machine Structural Uses - Materials Science and Technology (MS&T) 2009 October 25-29, 2009, Pittsburgh, Pennsylvania • Copyright © 2009 MS&T'09® Steel Processing, Product and Applications Symposium
- 6 Pereira,A.; Boehs, L., Guesser, W. – A influência das inclusões na usinabilidade – 15º POSMEC – Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Uberlândia-MG, 2005
- 7 *Rheeij,K., Bok Ahn,S. Lee, D. L.* - Development of Non-Leaded Free-Cutting Steel at POSCO – SEAIISI Quartely Journal , 2010, V. 39 – nº 4.
- 8 Ferraresi, D. - Fundamentos de Usinagem dos Metais – 1977, São Paulo, pg. 164.