

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Departamento de Engenharia de Materiais e Metalurgia

TRABALHO DE FORMATURA

Nome: Fernando Murilo Lobão Soares

No. USP: 3314833

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Duarte Brandi

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Departamento de Engenharia de Materiais e Metalurgia

**Caracterização do Molhamento de pasta de liga isenta de chumbo
para aplicação em componentes eletrônicos**

São Paulo

2005

À vaincre sans peril, on trionphe sans gloire

Uma vida sem perigo, um triunfo sem glória

(Corneille)

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Sérgio Duarte Brandi por toda sua dedicação na orientação deste trabalho e pelos ensinamentos durante esses anos.

À Marcelle e minha família pela paciência e todo amor dispensado.

Ao Cláudio e Abel pelo suporte técnico à realização do trabalho

Aos amigos que fiz dentro desta escola os quais tornam esse período inesquecível

À Escola Politécnica pela minha formação e conhecimento adquirido.

Índice

1-) Resumo	9
2-) Revisão Bibliográfica.....	10
2.1-) Juntas Metálicas.....	10
2.1.1-) Soldagem Branda.....	10
2.1.2-) Brasagem.....	10
2.1.3-) Soldagem.....	11
2.1.4-) Comparação entre os processos.....	11
2.2-) Soldagem na Indústria Eletrônica.....	12
2.3-)A importância da soldagem.....	12
2.4-) Processo de Soldagem.....	13
2.4.1-) Aquecimento.....	14
2.4.2-) Molhabilidade das Superfícies.....	15
2.4.3-) Fluidez da Solda.....	16
2.4.4-) Quantidade Adequada de Solda	18
2.5-) Introdução ao Surface Mount Technology.....	18
2.5.1-) Uma explicação do SMT.....	19
2.5.2-) Aplicações do SMT.....	20
2.5.3-) Vantagens e Desvantagens do SMT.....	20
2.6-) Fluxos para Solda.....	22
2.6.1-) Eficácia dos Fluxos.....	25
2.6.1.1-) Atividade dos fluxos.....	25
2.6.1.2-) Efeito da temperatura de soldagem.....	26
2.6.1.3-) Capacidade de Proteção do Fluxo.....	27
2.6.1.4-) Atmosferas Protetoras.....	27

2.6.2-) Corrosividade dos Fluxos.....	28
2.7-) Pastas de Solda.....	28
2.8-) Pastas de Solda Isentas de Chumbo (“ <i>Lead Free</i> ”).....	30
2.8.1-) Ponto de Vista Químico.....	31
2.8.1.1-) Altas temperaturas de processamento.....	31
2.8.1.2-) Aumento da Oxidação e Problemas com o Fluxo	32
3-) Objetivos.....	34
4-) Materiais e Métodos.....	35
4.1-) Procedimentos do Ensaio.....	37
5-) Resultados e Discussão.....	40
5.1-) Caracterização do molhamento.....	40
5.2-) Ensaio de Espalhamento.....	41
6-) Conclusão.....	42
7-) Referências Bibliográficas.....	43

Índice de Figuras

Figura 1: Juntas não foram molhadas pelo metal de adição	17
Figura 2: Comparação entre o tamanho de placas.....	19
Figura 3: Tempos de teste de glóbulo em função da temperatura.....	26
Figura 4: Análise por diferença térmica (DTA) e análise termogravimétrica.....	26
Figura 5: Amostras retiradas para o teste.....	37
Figura 6: Politriz usada para o polimento das moedas de cobre.....	38
Figura 7: Equipamento de ultra-som para limpeza das moedas.....	38
Figura 8: Estêncil para aplicação da pasta.....	39

Índice de Tabelas

Tabela 1: Soldagem versus outros métodos de junção.....	11
Tabela 2: Classificação dos fluxos para soldagem branda.....	24
Tabela 3: Especificação da pasta de solda de Pb/Sn.....	35
Tabela 4: Especificação da pasta de solda isenta de chumbo.....	36
Tabela 5: Resultado qualitativo do molhamento das pastas.....	40
Tabela 6: Resultado do espalhamento das pastas.....	41

1. Resumo

Nos dias atuais, o mundo tem uma grande preocupação com questões ambientais e médicas e, em conflito a isso, a indústria não pode perder a qualidade e competitividade nos vários mercados existentes.

Relacionado a esses fatores, buscou-se entender, com este trabalho, as diferenças qualitativas na aplicação de dois tipos de pastas de solda na indústria eletrônica: pasta de liga Sn/Pb e pasta isenta de chumbo. A priori, a aplicação da pasta isenta de chumbo em componentes eletrônicos traz o benefício ambiental, uma vez que retiramos do sistema um metal excessivamente prejudicial à saúde humana, o chumbo.

Para avaliar se a pasta isenta de chumbo é tecnicamente viável na produção em grandes escalas de produtos eletrônicos, em comparação à pasta Pb/Sn, analisar-se-á as diferenças de molhabilidade e espalhamento, tendo como uma das variáveis o tempo de degradação das pastas.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Juntas Metálicas

Embora as técnicas de junção sejam bastante conhecidas pelo seus intensos usos durante muitos anos, os profissionais que utilizam esta técnica encontram, geralmente, dificuldades para definir os diversos tipos de juntas. Adiante, definir-se-á os métodos de união de metais segundo Manko.

2.1.1 Soldagem Branda

A Soldagem Branda é um método de união o qual utiliza um metal de preenchimento, chamado de solda, com uma temperatura de fusão em torno de 300°C, unindo as partes através do molhamento para a formação da junta, requer difusão e crescimento de compostos intermetálicos com o metal de base [3].

As juntas metálicas, em geral, são uniões em que é estabelecida uma continuidade metálica de um metal para outro. Os outros métodos de junção são brasagem e soldagem.

2.1.2 Brasagem

A brasagem é um método de junção o qual utiliza metal de base como preenchimento, com temperatura de fusão acima de 430°C e que depende do molhamento, assim como a difusão, para um bom resultado do processo [3].

2.1.3 Soldagem

A Soldagem é um método de junção que depende da difusão do metal de base, independentemente do uso ou não de metal de preenchimento [3].

2.1.4 Comparação entre os processos

A distorção térmica durante a junção é pequena para a soldagem branda, grande para a brasagem e muito grande para a soldagem.

Em relação ao custo dos equipamentos, o da solda branda é pequeno, o da brasagem é alto e o da soldagem é o maior. Esta diferença é mais evidente quando consideramos a facilidade da automação do processo. A automação é mais fácil, respectivamente, na soldagem branda, brasagem e soldagem [1,3].

Em relação à qualidade do produto final dos três processos, a soldagem branda se destaca por possuir um processo mais barato e mais rápido devido a automatização.

Tabela 1: Soldagem versus outros métodos de junção [adaptado da ref. 1].

Fator	Junções Metalúrgicas		
	Soldagem Branda	Brasagem	Soldagem
Limite de temperatura da junta (fusão em °C)	38-427	427-871	Temperatura de fusão
Efeito de aquecimento dos componentes	Pequeno	Grande	Pequeno
Facilidade de retrabalho de junção	Alta	Alta	Alta
Custos de equipamento	Pequenos	Médios	Médios
Facilidade de automação	Alta	Média	Alta

2.2 Soldagem na Indústria Eletrônica.

A Soldagem é uma importante técnica na produção de produtos eletrônicos. Muitas pessoas, designers de produtos eletrônicos, engenheiros de produção e processos têm que tratar com os vários aspectos da soldagem em sucessivos passos do processo de fabricação. As decisões que são tomadas nas respectivas esferas influenciam o resultado da soldagem em um estágio posterior [1].

Desde que a tecnologia da soldagem ocupou uma posição intermediária entre várias ciências como a mecânica, química e metalurgia, ela tornou-se inteligível na prática por várias pessoas diferentes envolvidas em discussões de suas técnicas.

A soldagem na indústria eletrônica é diferente em vários aspectos da soldagem em outros tipos de produtos. Embora os princípios físicos de todos os processos de soldagem são os mesmos, as características específicas de seu uso na eletrônica são tão numerosas que é possível dizer que a soldagem na eletrônica é um assunto com propriedades próprias.

2.3 A importância da soldagem

O funcionamento eficiente de equipamentos eletrônicos depende da interação correta de seus componentes. Para esta interconexão, este depende em sua maior parte da soldagem, a qual tem mantido uma posição dominante comparada a muitas outras técnicas de junção [1,2].

Na produção eletrônica em massa são feitas centenas de milhões de juntas soldadas diariamente. Um aparelho de rádio comum contém cerca de 500 junções, uma TV preta e branca tem em torno de 1.000, e uma TV colorida cerca de 2.000.

Grandes sistemas como telefones e computadores têm acima de 100.000 junções soldadas. Com o correto desenvolvimento da junção e a aplicação de um bom processo são obtidas boas juntas, tendo uma insignificante resistência elétrica no contato e uma resistência mecânica aceitável. Segurança não quer dizer somente ter as propriedades desejadas depois da soldagem, mas também manter tais propriedades durante a vida do equipamento eletrônico.

A soldagem é uma operação simples. Ela consiste no posicionamento relativo das partes a serem unidas, do molhamento da superfície com o material de solda e do resfriamento do conjunto até sua solidificação. Para a soldagem na indústria eletrônica, a liga Sn/Pb, com o ponto de fusão em torno de 185 °C, é a mais usada.

2.4 Processo de Soldagem

Os vários processos de soldagem em série, como, por exemplo, a soldagem por onda ou tecnologia de montagem de superfície (SMT), têm suas características próprias. Elas diferem na forma na qual o fluxo e o metal de adição para a soldagem branda são aplicados às partes a serem unidas, e de maneira que, o calor, seja fornecido adequadamente, de maneira a evitar defeitos nas juntas. Apesar destas diferenças, cada processo de soldagem mostra um número de pré-requisitos básicos, a fim de produzir juntas soldadas com qualidade. As diferenças derivam do conhecimento básico em soldagem, e têm implicações definitivas para o desenvolvimento e fabricação de produtos a serem soldados. Em muitos casos, os aspectos básicos têm sido trabalhados fora das especificações ou normas com as quais o desenvolvimento e fabricação devem cumprir [1].

O desenvolvimento eletrônico, a criação de hardware e o processo de fabricação juntos determinam o produto final. A coordenação entre a criação e produção é fundamental para o sucesso. A seguir, seguem algumas propriedades básicas relacionadas aos bons resultados da soldagem.

2.4.1 Aquecimento

Do ponto de vista térmico o processo de soldagem deve satisfazer duas necessidades conflitantes [1]:

- a face a ser soldada deve estar aquecida suficientemente a fim de permitir o molhamento pela solda;
- os componentes a serem soldados não podem ser aquecidos a uma temperatura na qual eles sejam danificados.

Há muitos casos em que, durante a soldagem, as temperaturas nas partes a serem soldadas e dentro do componente são as mesmas, isto é, em um processo lento de *reflow*, ou quando os componentes são muito pequenos.

Em outros casos a temperatura durante a soldagem não é homogeneamente distribuída, assim como soldagem por onda de componentes com terminais relativamente longos, para os quais a temperatura máxima a ser tolerada dentro do corpo é muito menor do que a temperatura necessária para a soldagem dos mesmos. Esta condição pode ser obtida somente se o aquecimento da soldagem for seletivamente aplicado com uma taxa de maior intensidade nos locais a serem soldados.

Muitos exemplos existem os quais na face, as propriedades de molhamento das superfícies são insuficientes, mas onde uma análise mais detalhada revela que

as condições térmicas têm participação. O desenvolvimento térmico deve ser feito de forma que a solda, fluindo à área a ser soldada, não resfrie tão rapidamente de modo que o movimento seja prejudicado antes da junção ser afetada. Esta é a parte do aspecto térmico de soldabilidade chamado *thermal demand*.

O método de aquecimento exerce influência nas propriedades das juntas soldadas em um estágio posterior, pois a existência de gradientes de temperatura no fim do período de aquecimento influenciará a direção de solidificação e microestrutura da liga de solda. As reações irão somente depender do método de aquecimento e particularmente da duração do estado líquido da liga de solda na junta.

2.4.2 Molhabilidade das Superfícies

As superfícies metálicas devem ter boa molhabilidade. Elas devem estar bem limpas de modo que um bom contato metálico possa ser estabelecido entre a solda e o metal de base. O componente com baixa molhabilidade determina a atividade do fluxo a ser usado e, portanto, tem um forte efeito na tecnologia de soldagem e, dependendo do tipo de fluxo, pode haver necessidade de limpeza do fluxo depois do processo.

Se a molhabilidade é insuficiente, tende-se a aumentar a atividade do fluxo e a temperatura de soldagem, apesar dos riscos serem conhecidos. Tecnicamente falando, isto não é necessário. Existem métodos conhecidos para obter superfícies metálicas que são molhadas pela solda em temperaturas normais de soldagem usando somente pequenas quantidades de fluxos ativados [1].

A molhabilidade dos contatos metálicos tem aumentado durante as últimas décadas fazendo com que este não seja mais o mais problema envolvido na soldagem. Consequentemente deve-se dar maior atenção a outros aspectos envolvidos na soldagem, em particular aos relacionados ao desenho das juntas. Isto é importante para manter o alto nível de molhabilidade pela seleção apropriada dos metais, coberturas passíveis de soldagem e pela aplicação de materiais apropriados ao processo. O nível de molhabilidade é verificado por testes de performance pelos quais são estabelecidos procedimentos.

O molhamento da superfície é determinado também pelo formato da superfície. Uma superfície curvada, como um fio, é mais difícil de molhar que uma superfície plana. Por esta razão a cobertura dos cantos vivos com solda é praticamente impossível.

2.4.3 Fluidez da Solda

Ao colocar-se a solda no contato entre as superfícies dos metais para a união é possível que haja uma fluidez da solda para dentro do contato devido ao fenômeno de capilaridade [1,2].

Na soldagem por onda, a solda tem um volume que é mais do que 10^7 vezes maior que o volume da junta, enquanto na solda do tipo *reflow* somente uma pequena parte de solda é aplicada acima ou perto da junta.

No primeiro caso, a fluidez da solda é influenciada pelas características dinâmicas do fluido da solda. Uma vez que a solda líquida está em contato com a superfície limpa, qualquer espaço é preenchido automaticamente com solda pela ação da capilaridade. Portanto as soldagens são feitas espontaneamente, não

ocorrendo restrições para o fluxo da solda. Na *Surface Mount Devices* os conectores com dificuldades de molhamento comprometem a qualidade da junção, resultando em um buraco justamente onde eles estão localizados. Este problema em particular é superado pelo desenvolvimento de bocais especiais para a soldagem por onda, produzindo um forte empuxo a fim de direcionar a solda aos locais a serem soldados.

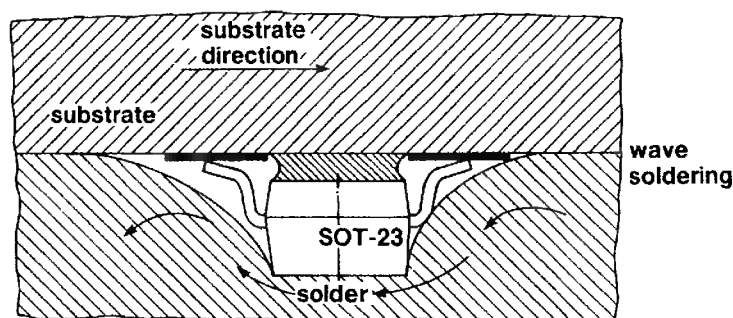


Figura 1: Juntas não foram molhadas pela metal de adição devido ao formato

Na soldagem tipo *reflow*, o metal de adição líquido tem que deslocar-se por um curto espaço. Este movimento é influenciado pela configuração local das partes a serem unidas, assim como pela distribuição de temperatura. O movimento do metal de adição durante o reflow é, em algumas vezes, impossível devido à diferença de planos. Isto ocorre, por exemplo, quando um conector do componente tem uma inclinação para fora do plano do local a ser soldado, como mostra a figura 1. Desta forma, não ocorre o contato com a pasta de solda na região e isto ocorre especialmente com componentes delgados e flexíveis [1].

Existem exemplos em que o movimento do metal de adição líquido dirige-se para um lado indesejado. Isto ocorre quando um conector está mais aquecido que a solda na junta, e então a solda molhará o conector de tal forma que ela será

sugada para fora da junta. Um efeito similar pode ocorrer se a molhabilidade do componente é muito maior que a região da solda.

2.4.4 Quantidade Adequada de Solda

Na soldagem *reflow*, a quantidade de solda é calculada de forma que a quantidade correta seja retida automaticamente nas juntas. Primeiramente, a quantidade correta deve ser conhecida e a técnica de aplicação deve ser suficientemente precisa para dosar a quantidade.

Em um processo de soldagem por onda a situação é muito mais complicada pois, enquanto a solda de preenchimento deve ocupar os espaços entre o componente e o circuito, os componentes não facilitam esta ocupação para a formação de circuitos. Isto é determinado pelo formato do circuito, condutividade na placa e pela orientação dos componentes respeitando à direção da onda.

A forma e volume das juntas soldadas dão uma certa dimensão do espaço a ser ocupado e metalização do componente. Eles são o resultado da interação da tensão de superfície da solda e gravidade.

2.5 Introdução ao Surface Mount Technology

Desde a sua introdução em equipamentos eletrônicos em meados da década de 60, a *Surface Mount Technology* (SMT) tem sido considerada uma necessidade absoluta nas indústrias em função de alcançar menores componentes eletrônicos e com melhores performances. Desde então, o SMT tornou-se uma técnica essencial dentro das indústrias de ponta como as automotivas e eletrônicas pois, com esta

técnica, as indústrias conseguem obter uma posição cada vez mais competitiva no mercado [2].

Essa tecnologia na eletrônica trouxe altíssima compactação aos circuitos eletrônicos, além de torná-los mais rápidos, o que faz com que cada vez mais sejam alcançados maiores desafios.

2.5.1 Uma explicação do SMT

As placas eletrônicas que utilizam SMT são todas povoadas com *Surface Mount Devices (SMD)*. SMDs podem ser definidos como componentes eletrônicos, montados sobre as superfícies dos substratos e interconectados através de trilhas metálicas. Em contraste, um componente convencional é ligado ao substrato através de juntas onde os componentes fazem ligações em ambos os lados do substrato dependendo de furos na placas para ocorrer as ligações metálicas [2].

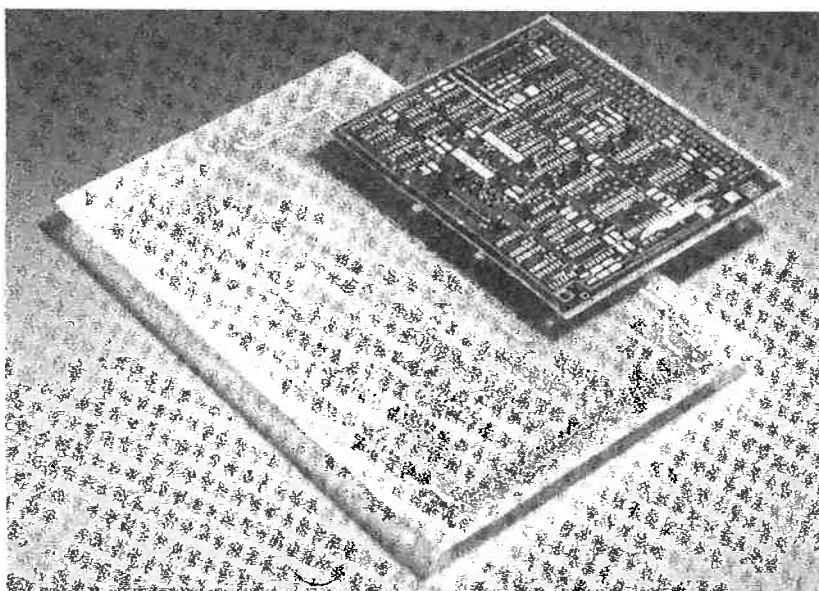


Figura 2: Comparação entre o tamanho de placas com a mesma função fabricadas pelo método convencional e SMT.

Um SMD é soldado somente no lado do substrato no qual será montado. Isto é o que faz do SMT uma técnica atrativa, ao contrário das montagens ou

componentes convencionais, ambos os lados do substrato pode ser ocupados com componentes. Além disso, com pelo muito mais de 50 a 70 por cento de redução no tamanho. SMDs são significativamente menores que as placas convencionais.

2.5.2 Aplicações do SMT

O crescimento espetacular do SMT tem liderado o seu uso em praticamente todos os tipos de produtos eletrônicos em muitas das indústrias existentes. A indústria de eletro-eletrônicos, a qual é atualmente o maior usuário desta técnica, inicialmente incorporou o SMT em alguns dos primeiros *notebooks* oferecidos ao mercado em 1982-1983.

Os aparelhos eletrônicos para medicina são equipamentos que estão ficando cada vez mais dependentes das vantagens do SMT e, ao mesmo tempo, mantendo níveis necessários de qualidade e segurança. Nesta indústria, o SMT está sendo aplicado em alimentadores intravenosos, medidores de glicose para diabetes, termômetros, marca-passos, e outros tipos de equipamentos eletrônicos.

2.5.3 Vantagens e desvantagens do SMT

Ao contrário do que aparenta a tecnologia SMT não é muito nova. Usada na eletrônica militar e aeroespacial por pelo menos 20 anos, o maior atrativo desta técnica está por conta da alta densidade de estruturação e compactação, o que acarreta em um peso total menor, além de tornar os sinais elétricos do equipamento mais rápidos.

Se fosse feita uma indagação que colocasse em jogo o desempenho e a facilidade de fabricação de produtos pela técnica da SMT, esta dúvida perduraria por

muito pouco tempo, pois, segundo Capillo [2], "...isto ocorre simplesmente porque bilhões de dólares são lucrados através do hardware, alguns deles estão em órbita 23.000 milhas do planeta e alguns através do sistema solar, mostrando a performance e produtividade do SMT...". Satélites custam aproximadamente 300 milhões de dólares cada, sondas espaciais têm seu valor acima de 1 bilhão de dólares cada, nos quais é incorporada a tecnologia SMT, mostrando que esta tecnologia é viável e confiável.

O uso comercial da SMT está passando por uma fase de transição, com vantagens e desvantagens comparadas ao método convencional de montagem por furos nas placas de circuito impresso.

- De 50 a 70 por cento de alta densidade de compactação.
- A possibilidade de consolidação vários sistemas em uma única placa.
- Maior quantidade de componentes em uma placa.
- Altas velocidades de troca de sinais pela diminuição das distâncias.
- Não necessita de preparação do componente.
- Produção automatizada e mais rápida.
- Menor espaço para a estocagem das matérias-primas.
- Menores custos.

As desvantagens podem ser descritas a seguir:

- Falta de padrão para componentes, desenvolvimento, processos, materiais, mão-de-obra e testes.
- Falta de um número significativo de profissionais e fornecedores com experiência em SMT.

- Altos custos iniciais.
- Ausência de alguns componentes em pacotes de montagem em superfície.
- Maior complexidade de fabricação, dos processos e materiais.
- Teste do circuito é mais complicado.
- Retrabalho de placas.

As desvantagens são temporárias e terão vida por pouco tempo, até esta tecnologia consolidar-se no mercado.

2.6 Fluxos para Solda

Os fluxos para soldagem são usados para promover o molhamento e ajudar na própria formação da junta soldada. Os fluxos têm, resumidamente, três funções:

- Função Química: a principal tarefa do fluxo é remover o filme de óxido da superfície e proteger a superfície contra novas oxidações.
- Função Térmica: ajudar na transferência de calor da fonte de aquecimento até a área de junção.
- Função Física: remove os produtos de reação da superfície para permitir que a solda tenha melhor contato com a superfície do metal de base.

Estas funções influenciam na tensão de superfície do metal de base, na solda, interfaces e, conseqüentemente, tem um efeito sobre as condições de molhamento.

Existe um número considerável de fluxos no mercado. A formulação deles no uso cotidiano é baseado nos resultados de tentativa e erro. Os fluxos consistem em

agentes ativos dissolvidos ou dispersos em um fluido. Duas categorias podem ser explicitadas:

- Fluxos solúveis em fluidos orgânicos.
- Fluxos solúveis em água.

Esta solubilidade é aplicada especialmente aos resíduos do fluxo após a soldagem.

Depois da aplicação do fluxo, a qual pode ser feita de várias maneiras, o solvente evapora, ficando os agentes ativos na superfície. No caso da solda por cobertura o fluxo fica no fio de solda sem solvente e torna possível o aquecimento e fusão do fio.

A seleção de um fluxo é feita por dois critérios:

- Eficácia do fluxo: é a habilidade do fluxo promover a fusão da solda. A eficácia está intimamente relacionada com a atividade química.
- Corrosividade do fluxo: é a habilidade dos resíduos do fluxo afetarem os produtos soldados após o processo de soldagem.

Os dois critérios são opostos entre si. Em muitos casos um fluxo com alta atividade pode ser corrosivo assim como um fluxo não corrosivo tem baixa atividade.

Pelo motivo da maioria dos componentes eletrônicos serem muito sensíveis à corrosão, a escolha dos fluxos é restrita ao limite de atividade. Os efeitos prejudiciais dos resíduos do fluxo podem ser reduzidos se os resíduos forem lavados.

Uma outra visão é a inativação dos resíduos. Em princípio, isto é possível pois a atividade pode prevalecer na temperatura de soldagem, normalmente acima de 200°C, considerando que a corrosão para acontecer tem que estar em uma temperatura muito menor, em torno de 70°C, que é a temperatura máxima provável de funcionamento de um equipamento eletrônico.

Contudo, em todos os casos, as superfícies das partes eletrônicas a serem soldadas podem estar relativamente livres de contaminantes quando comparadas com o grau de limpeza necessário em muitos outros usos da soldagem. O uso do fluxo não substitui uma preparação adequada da superfície, isto é, o fluxo não é uma substância de limpeza universal.

Três tipos de fluxo são encontrados:

Tabela 2: Classificação dos fluxos para soldagem branda.

Tipo de Fluxo	Base do Fluxo	Ativação do Fluxo	Forma do Fluxo
Resinoso	Colofônia	1. Não Ativado. 2. Ativado por Halogênio. 3. Ativado sem Halogênio	A-Líquido B-Sólido C-Pasta
	Não Colofônia (resina)		
Orgânico	Solúvel em água		
	Não solúvel em água		
Inorgânico	Sais	1. Cloreto de Amônia 2. Sem Cloreto de Amônia	
	Ácidos	1. Ácido Fosfórico 2. Outros Ácidos	
	Álcalis	Aminas e/ou Amônia	

2.6.1 Eficácia dos Fluxos

A eficácia de um fluxo é a habilidade dele promover o molhamento das superfícies pela solda fundida por um tempo determinado. Como definido, ela compreende na habilidade do fluxo molhar a superfície a ser unida, transferir o calor da fonte e limpar as superfícies quimicamente. A última dessas propriedades é conhecida como atividade do fluxo. A eficácia de um fluxo específico pode ser investigada por um dos métodos usados para o teste de soldabilidade de superfícies. O máximo de informações é obtido pelos métodos pelos quais a taxa de molhamento é estabelecida, particularmente em poucos segundos de molhamento e em taxas de aquecimento próximas às do processo de soldagem em utilização.

2.6.1.1 Atividade dos fluxos

Durante o aquecimento do fluxo sua atividade aumenta continuamente, mas a partir de uma certa temperatura a atividade diminui devido à degradação das substâncias ativas. Como a forma de oxidação dos metais líquidos e sólidos é dependente da temperatura, do processo de limpeza e, conseqüentemente, do molhamento, é complicado prevê-lo quantitativamente.

Um fluxo que trabalha em temperatura e tempo específicos pode não responder satisfatoriamente em outras condições. O grau da atividade química do fluxo deve ser adaptado ao processo de soldagem:

- Em um processo rápido, o fluxo é necessário desenvolver sua atividade muito rapidamente; eles podem ser instáveis.
- Em um processo lento, o fluxo deve ser mais estável e possuir uma capacidade de proteção prolongada.

2.6.1.2 Efeito da temperatura de soldagem

Se o logaritmo dos tempos de molhamento, t , é plotado contra a temperatura absoluta, T , é obtida uma reta experimental próxima a de Arrhenius: $T = t_0 \cdot \exp(-Q/RT)$, onde R é a constante dos gases e Q é a energia de ativação.

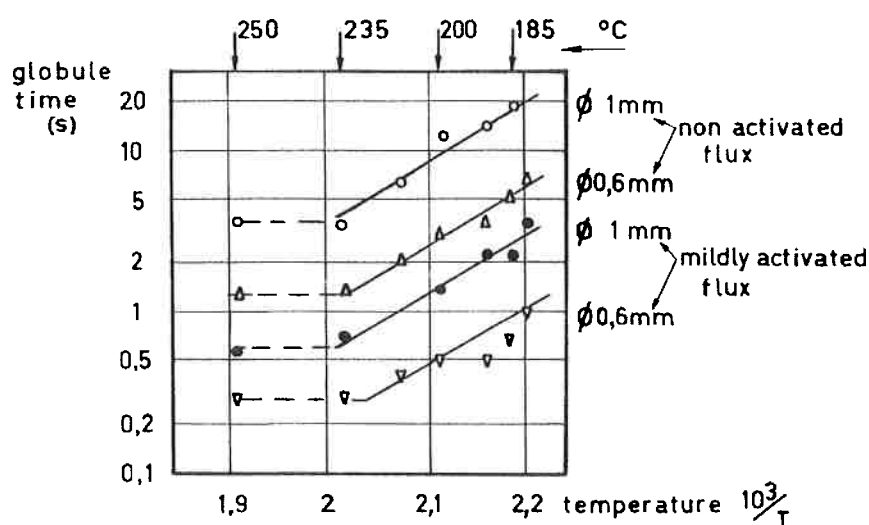


Figura 3: Tempos de teste de glóbulo em função da temperatura [1].

As baixas energias de ativação indicam que o processo de molhamento é só determinado somente quimicamente.

O efeito da temperatura no fluxo pode ser investigado usando-se técnicas como análise de diferença térmica e análise termogravimétrica.

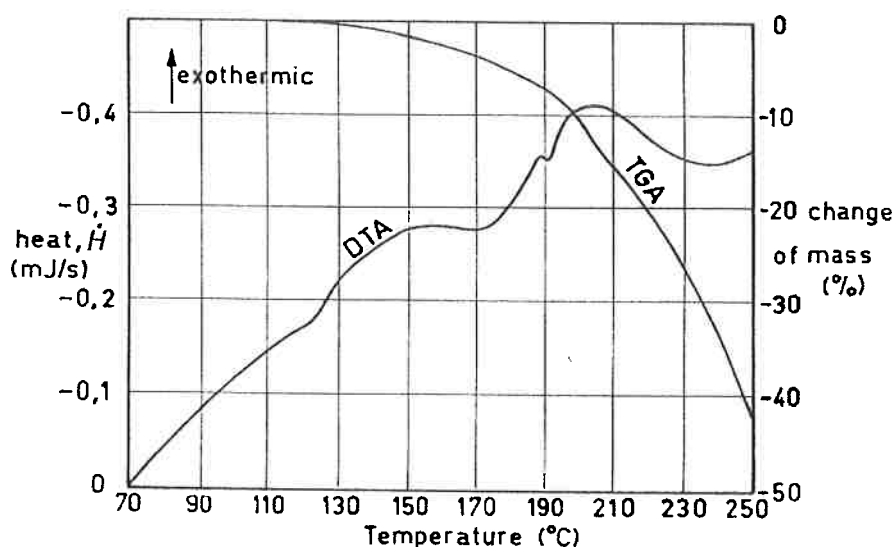


Figura 4: Análise pro diferença térmica (DTA) e análise termogravimétrica de fluxo resinoso [1].

A maioria dos processos de soldagem, entre eles a soldagem por onda e soldagem reflow, são feitos a uma temperatura em torno de 250°C. Os fluxos adequados para esta temperatura trazem resultados não desejados a baixas temperaturas. Esta é uma das razões pela quais as ligas com baixas temperaturas de fusão não são usadas muito freqüentemente pois para obter um grau de molhamento suficiente a temperatura deve ser elevada ainda para uma temperatura acima da temperatura de fusão das ligas.

2.6.1.3 Capacidade de Proteção do Fluxo

Nos testes de espalhamento da solda, somente a ação de limpeza do fluxo é considerada. No entanto, o fluxo deve proteger as superfícies contra a oxidação para prevenir a formação de pontes e pingentes. Os constituintes do fluxo que limpam a superfície dos componentes, a placa soldada e o metal de solda no início da

soldagem podem não ser apropriados para esta tarefa de proteção na fase final da soldagem.

2.6.1.4 Atmosferas Protetoras

A principal tarefa dos fluxos é limpar as superfícies, principalmente pela remoção de óxidos. Esta tarefa poderia ser auxiliada usando-se gases inertes. No entanto, as temperaturas e tempos permitidos no processo de soldagem são insuficientes para a redução dos óxidos. Por outro lado, os gases podem ser usados para cumprir a tarefa protetora dos fluxos.

2.6.2 Corrosividade dos Fluxos

A corrosão pelos resíduos do fluxo é um ataque químico inesperado a partir deles no produto soldado durante o tempo de vida do produto. Os resíduos originados do vapor do fluxo, fluxo aquecido, não aquecido e seus efeitos variam de uma simples descoloração a uma completa destruição da funcionalidade do produto. Ligada à corrosão, está a questão da redução de resistência da superfície sobre a influência dos resíduos dos fluxos. Uma previsão de falha por corrosão ou uma inaceitável diminuição na resistência da superfície é difícil de conseguir. Diferentes métodos podem ser usados para melhorar as previsões. Os testes podem ser divididos em dois grupos:

- Testes no fluxo, negligenciando a influência da soldagem.

- Testes nas placas depois da soldagem, na qual todos os processamentos do produto antes do teste são levados em consideração.

2.7 Pastas de Solda

Nos últimos anos as pastas de solda têm sofrido uma grande evolução. Originalmente desenvolvidas para satisfazer aplicações industriais e automotivas, as pastas de solda têm passado por grandes transformações para tornarem-se um refinado material eletrônico. Esta transição da indústria para aplicações eletrônicas requisitou um significativo desenvolvimento.

As pastas de solda são comparadas hoje com materiais de filmes finos através das características de impressão e reprodutibilidade e, ao mesmo tempo, podem satisfazer necessidades militares pela compatibilidade com a segurança e qualidade do processo. As pastas de solda são suspensões homogêneas de pó de solda em um fluido tixotrópico, o fluxo [1].

Mesmo com a existência das mais diversas ligas, somente um número limitado de composição é utilizado na conexão de componentes eletrônicos. Dessas soldas, a liga Pb/Sn, com composição eutética, é a mais utilizada. Os principais motivos para que esta liga seja utilizada na soldagem são:

- Bom molhamento da solda devido à grande afinidade do estanho com outros metais.
- A solda não cria compostos intermetálicos.
- O ponto de fusão está acima da temperatura máxima de serviço do equipamento soldado.

- As características do filme de óxido de estanho não trazem muitos problemas comparados com os filmes de óxidos de outros metais com baixo ponto de fusão.

Porém, durante os últimos anos, tem-se dado bastante atenção a uma liga que promete ocupar o espaço da liga Pb/Sn. Tal liga é chamada de *Lead Free* e, como o nome já diz, seu melhor atrativo é a ausência do chumbo na liga.

2.8 Pastas de Solda Isentas de Chumbo (“*Lead Free*”)

O Chumbo tem sido usado por milhares de anos nos processos de soldagem. As propriedades tóxicas do chumbo foram sendo descobertas com o progresso da medicina e química nos últimos séculos. Entre os metais tóxicos, o chumbo é um dos piores. No entanto, é ainda muito utilizado (com pigmentos de tintas ou aditivos de gasolina) na sociedade moderna. Nas décadas passadas, o uso do chumbo tem trazido problemas de saúde à população, e progressivamente o chumbo tem sido banido de seus diversos usos.

Agora este movimento está alcançando a indústria de equipamentos eletrônicos. A real questão é se o chumbo em solda é uma ameaça ou não para a saúde humana e para o meio ambiente. A resposta para esta questão é ainda obscura, mas a solda isenta de chumbo (*lead-free solder*) está respondendo às expectativas. Até mesmo se as Orientações Européias, inicialmente agendadas para acontecer em 2008, não aprovarem imediatamente, as indústrias têm que preparar-se para trocar suas soldas para pasta isenta de chumbo cedo ou tarde.

As restrições da legislação na Europa e Japão podem adiantar as mudanças nas indústrias. No Japão, o selo verde tem provado que é um forte argumento para

os consumidores. Se os consumidores favorecerem fortemente os produtos “verdes”, encontraremos inicialmente um crescimento na produção de produtos isentos de chumbo. As razões do marketing podem empurrar o chumbo fora das linhas de montagem em um futuro próximo, programado para julho de 2.006.

2.8.1 Ponto de Vista Químico

2.8.1.1 Altas temperaturas de processamento

Uma significativa parte do trabalho tem sido encontrar um substituto para a liga eutética Sn/Pb. No entanto, a busca para uma substituição falhou no que tangia as mesmas propriedades químicas. Por causa disso, está difícil encontrar as mesmas propriedades de liga e essa dificuldade tem sido amplamente discutida. A nova liga deve ser avaliada na sua variedade de propriedades incluindo: disponibilidade, toxicidade, condições de processamento, temperatura de fusão entre outros.

Todos os candidatos para a substituição da liga Pb/Sn estão focados na inclusão de estanho por essas propriedades em especial. Por isso, a indústria aparentemente está convergindo para misturas entre estanho/prata/cobre, assim como outras combinações binárias e ternárias baseadas em estanho. Infelizmente, todas essas combinações têm altas temperaturas de fusão quando comparadas com a mistura tradicional de chumbo e estanho. A temperatura é um dos problemas mais difíceis nessa transição de ligas.

O eutético estanho/zinco pode ser a saída desta corrida. A temperatura de fusão é somente 6°C acima da liga Sn/Pb. Claro que o zinco, por ser extremamente

eletronegativo, é muito mais propenso à oxidação que a prata ou cobre. Quanto a isso, devem ser tomadas precauções especiais, mas conseguir essa mudança na soldagem sem um aumento drástico na temperatura é um ganho inestimável. Algumas companhias têm escolhido esta alternativa. No Japão, as indústrias produzem facilmente em torno de 3 toneladas por mês de pasta de solda à base de Sn/Zn e, o bismuto, é usado para ajudar a evitar a perda de calor.

Há definitivamente uma tendência para uma liga padrão nos Estados Unidos e Europa. Os melhores candidatos são combinações dos metais mencionados: Sn, Ag e Cu. Todas as combinações têm pontos de fusão entre 34 a 44°C acima do eutético Pb/Sn. Por causa disso, as indústrias eletrônicas deverão aceitar um crescimento insignificante nas temperaturas de processamento.

2.8.1.2 Aumento da Oxidação e Problemas com o Fluxo

As altas temperaturas de processamento são um sério problema para os PCBs assim como para os componentes. Desde o início da soldagem na indústria eletrônica, a tecnologia tem-se estabilizado em torno do ponto de fusão do Pb/Sn. São necessários *reflow* e solda por onda para modificá-lo para um novo material de solda. Uma vez feito isto, o maior impacto do crescimento na temperatura de operação traz um aumento na oxidação.

A ciência de soldagem baseia-se fortemente no molhamento, o qual é reduzido pela oxidação. Um crescimento global na oxidação irá afetar a solda. Um acréscimo de 10 graus na temperatura é pequeno, mas considerando a Lei de Arrhenius, o crescimento na taxa de reação é exponencial e torna-se muito significativo em termos da espessura de oxidação.

Para reduzir o efeito da oxidação e chegar a um molhamento suficiente, é utilizado fluxo na soldagem. As formulações de fluxo são frequentemente delicadas blends de compostos orgânicos que, em elevadas temperaturas, são limitadas. Os compostos orgânicos são propensos a degradarem-se em altas temperaturas e, dessa forma, perdem suas propriedades químicas para o qual eles são adicionados ao fluxo. Os solventes, então, irão evaporar rápido quando a temperatura é elevada.

Em referência à solda com pasta isenta de chumbo, pode-se se notar que temperaturas altas de pré-aquecimento promovem um rápido crescimento, espalhamento da pasta de solda e desativação de ácidos usados em fluxos de forma mais rápida. Isso pode ocorrer pois, em altas temperaturas, a camada protetora de fluxo será menor, embora haja um aumento na taxa do potencial de oxidação da pasta assim como no metal a ser soldado.

3. OBJETIVOS.

Os objetivos deste trabalho são:

- Estudar a degradação de duas pastas (Pb-Sn e outra isenta de chumbo) em função do tempo de exposição na temperatura ambiente e da temperatura de teste.
- Verificar o molhamento e o espalhamento das pastas.

4. Materiais e Métodos.

Este trabalho tem como finalidade observar o efeito do tempo de degradação de dois tipos de pasta de solda em comparação ao molhamento. Para isso, foram adotados procedimentos e materiais de modo que os resultados aproximassem-se do que realmente acontece na fabricação de placas por SMT.

Foram empregados dois tipos de pasta de solda nos testes de molhamento e espalhamento. Uma pasta era bastante convencional e empregada no mercado, feita de uma liga Pb/Sn. A segunda era uma pasta isenta de chumbo, relativamente nova no mercado. Nas tabelas a seguir estão apresentadas as especificações das duas pastas utilizadas na pesquisa.

Tabela 3: Especificação da pasta de solda de Pb/Sn.

MP100 SOLDER PASTE			
Product Category	Anti-Tombstone alloy	Standard Alloy	Standard Alloy, (air free)
Alloy Code	63S4	Sn62/63	Sn62/63
Alloy Melting Range, °C	179-183	179/183	179/183
Particle Size Distribution - Multicore Code - Ansi/J-STD-005 - Nominal Size Range, µm	ACP - 45-15	AGS Type 3 45-25	AGS Type 3 45-25
Metal Content, wt%	90	90	90
Viscosity Brookfield, cP (1) Malcom, P (2) Thixotropic Index (3)	700,000 1620 0.73	680,00 1490 0.68	800,000 1460 0.65
Slump, (4) IIV Test Method, mm 1 Hour @ room temperature 0.7mm pads 1.5mm pads	0.2 0.2	0.2 0.2	0.2 0.2
20 minutes @ 80°C 0.7mm pads 1.5mm pads	0.2 0.2	0.2 0.2	0.2 0.2
Slump, (4) IPC Test Method Room Temperature 0.63mm pads horizontal/vertical 0.23mm pads horizontal/vertical	0.33/0.33 0.06/0.10	0.33/0.33 0.06/0.16	0.33/0.33 0.06/0.16
150°C 0.63mm pads horizontal/vertical 0.23mm pads horizontal/vertical	0.41/0.48 0.06/0.10	0.41/0.48 0.06/0.10	0.41/0.48 0.06/0.10
Tack (5) Initial tack force, g mm ² Useful open time, h	1.21 >72	1.36 >72	1.36 >72

(1) Measured at 25°C, TF spindle at 5rpm after 2 minutes

(2) Measured at 25°C and a shear rate of 6s⁻¹ (PCU-205 model)

(3) The Thixotropic Index (TI) is defined as:

$TI = \log(\text{viscosity at } 1.8s^{-1} / \text{viscosity at } 18s^{-1})$ (PCU-205 model)

(4) The slump data are expressed as the minimum spacing between pads of the size shown that does not allow bridging

(5) Tack data are derived from comparative laboratory tests and do not necessarily relate directly to particular user conditions.

Tabela 4: Especificação da pasta de solda isenta de chumbo

STENCIL PRINTING SOLDER PASTES	
Product Category	Lead-free alloy
Alloy Code	(96SC)
Alloy Melting Temperature °C	217
Particle Size Distribution Multicore Code ANSI/J-STD-005 Nominal Size Range, µm	AGS Type 3 45-20
Metal Content, wt%	88.5
Viscosity Brookfield, cP ^[1] Malcom, P ^[2]	575,000 1,265
Thixotropic Index ^[3]	0.57
Slump, ^[4] IJW Test Method, mm 1 Hour @ room temperature 0.7 mm pads 1.5mm pads	 0.2 0.2
20 minutes @ 80°C 0.7mm pads 1.5mm pads	 0.2 0.2
Tack ^[5] Initial tack force, g mm ² Useful open time, h	 1.30 >24

^[1] Measured at 25°C. TF spindle at 5 rpm after 2 minutes.

^[2] Measured at 25°C

^[3] The Thixotropic Index (TI) is defined as: $TI = \log(\text{viscosity at } 1.8s^{-1} / \text{viscosity at } 18s^{-1})$

^[4] The slump data are expressed as the minimum spacing between pads of size shown that does not allow bridging.

^[5] Tack data are derived from laboratory tests, and do not necessarily relate to particular user conditions.

A especificação da corrosividade dos fluxos foi medida através de ensaios propostos pela norma J-STD-004. Os resultados mostraram que ambos os fluxos são classificados como tipo L e atividade tipo '0' para cloreto e fluoreto. A diferença entre os fluxos está na quantidade de sólido, respectivamente de 72,7% para a pasta a base de Pb-Sn e 64,0% para a pasta isenta de chumbo.

Destas pastas, foram retiradas amostras a 35 dias, 20 dias e 5 horas da realização dos experimentos a fim de obter-se a variação do espalhamento da solda durante a fusão em função de seu tempo exposto à temperatura ambiente, uma vez que essas pastas devem ser conservadas a baixas temperaturas.



Figura 5: Amostras retiradas para o teste

4.1 Procedimentos do Ensaio

Primeiramente, foram embutidas e polidas 21 moedas de cobre que serviram como base de deposição das pastas a serem estudadas. O polimento foi feito desde a lixa 100 até o acabamento em 1 micron, com o objetivo de ter-se o melhor acabamento possível na superfície do cobre e que tal fator não influenciasse nos resultados do teste. Após o polimento, as moedas foram retiradas do embutimento e conservadas em uma cuba secadora e, a cada teste, a moeda utilizada passava por mais uma etapa de polimento para ser retirada a camada oxidada da superfície do cobre.



Figura 6: Politriz usada para o polimento das moedas de cobre

Para cada procedimento, a moeda a ser utilizada era colocada em um béquer contendo álcool e este em um limpador ultrasônico por um período de 1 minuto com a finalidade de serem retiradas impurezas da superfície do cobre, como por exemplo o pó retido durante o transporte da sala de polimento para o laboratório.



Figura 7: Equipamento de ultra-som para limpeza das moedas antes do teste

Após a limpeza da moeda, a mesma era secada em um papel toalha, posteriormente passava-se um pedaço de algodão levemente de modo a retirar o excesso que pudesse ter ficado na superfície da moeda.

Na próxima fase do processo, foram utilizadas também: placa de aquecimento, estêncil, lâmina comum de barbear, termopar e régua.

Durante o experimento, foram adotadas as seguintes temperaturas:

- 200, 240 e 350°C para a pasta da liga Pb/Sn
- 240 e 350°C para a pasta isenta de chumbo

Estas temperaturas foram escolhidas com base nos pontos de fusão de cada pasta. As temperaturas de 240 e 350°C foram estabelecidas para as duas pastas para tornar viável a comparação da degradação das mesmas a uma mesma temperatura. As temperaturas foram controladas através do termopar em cada procedimento de fusão de pasta.

Com a estabilização da temperatura na placa de aquecimento, utilizava-se o estêncil para depositar a pasta de solda na moeda de cobre. Tal estêncil teve fabricação própria, com três furos de 0,7 cm de diâmetro e serviu como medida do diâmetro inicial da pasta antes de sua fusão.

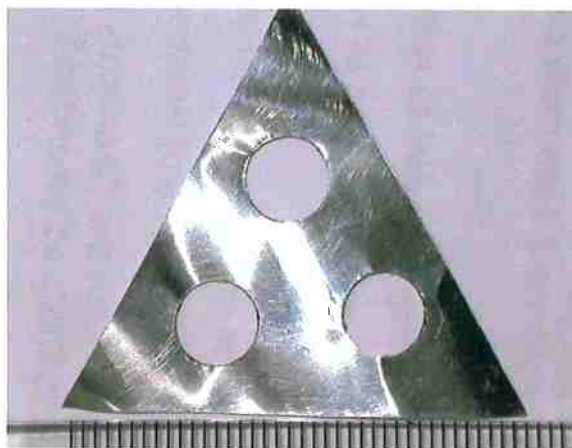


Figura 8: Estêncil para aplicação da pasta

Desta forma, as duas pastas, com tempos de exposição à temperatura ambiente citados, foram dispostas às temperaturas estabelecidas para cada uma delas. Após o término de todos os testes, foram tiradas fotografias digitais de cada amostra ao lado de uma régua para serem calculadas as porcentagens de espalhamento de cada fusão.

5. Resultados e Discussão.

A seguir serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios descritos acima.

5.1 Caracterização do molhamento.

A tabela 5 apresenta os resultados qualitativos do molhamento das duas pastas em função do tempo e da temperatura do ensaio.

Tabela 5 - Resultado qualitativo do molhamento das pastas sobre cobre.

Amostra	Tempo (Dias)	Temperatura (°C)	Molhamento*
Isenta de Pb	0,16	200	D
		240	D
		350	U
	20	200	D
		240	D
		350	D
	35	240	D
		350	D
Pb/Sn	0,16	200	U
		240	U
		350	U
	20	200	U
		240	U
		350	U
	35	200	U
		240	U
		350	U

* Legenda: U = molhamento uniforme (formato próximo de uma calota esférica); D = molhamento disforme.

Os resultados mostraram que, no caso da pasta isenta de chumbo, somente para uma condição ocorreu o molhamento uniforme. Por outro lado, a pasta Pb-Sn apresentou molhamento uniforme em todas as condições ensaiadas. A explicação para este comportamento pode estar relacionada à degradação do fluxo, por exemplo, pela vaporização de substâncias voláteis.

5.2 Ensaio de Espalhamento

A tabela 7 apresenta os resultados da caracterização do espalhamento para as duas pastas estudadas. Para tanto foi calculado o aumento no diâmetro com a fusão da pasta, a partir de um diâmetro inicial.

Tabela 7 - Resultado do espalhamento das pastas sobre cobre.

Amostra	Tempo (Dias)	Temperatura (°C)	Medida (10^{-1} mm)	$\Delta d/d_0$
Isenta Pb	1	200	73	0,04
		240	76	0,09
		350	74	0,06
	20	200	74	0,06
		240	73	0,04
		350	70	0,00
	35	240	73	0,04
		350	70	0,00
		350	70	0,00
Pb/Sn	1	200	75	0,07
		240	76	0,09
		350	76	0,09
	20	200	82	0,17
		240	75	0,07
		350	78	0,11
	35	200	74	0,06
		240	88	0,26
		350	88	0,26

Analisando-se a tabela 7 nota-se que:

- Pasta isenta de chumbo: comparando-se as temperaturas de 240 e 350°C, para um mesmo tempo de exposição da pasta à temperatura ambiente, nota-se que o espalhamento decai com o aumento da temperatura. Da mesma maneira, para uma temperatura fixa, o espalhamento diminui com o aumento do tempo de exposição da pasta à temperatura ambiente.
- Pasta Pb/Sn: comparando-se as temperaturas de 200 e 240°C, para um mesmo tempo de exposição da pasta à temperatura ambiente, observa-se que o espalhamento tem tendência a manter-se constante ou reduzir com a temperatura. Similarmente, para uma temperatura fixa, o espalhamento tende a diminuir como o aumento do tempo de exposição da pasta à temperatura ambiente.

O comportamento do espalhamento pode estar relacionado com a degradação do fluxo das pastas.

6. Conclusão

Com base nos testes realizados pode-se concluir que:

a) o fluxo da pasta Pb/Sn apresenta uma maior atividade química quando comparado com o fluxo da pasta isenta de Pb. Isto pode ser evidenciado pelo comportamento do molhamento em todas as temperaturas e tempos de exposição da pasta à temperatura ambiente.

b) De uma maneira geral, a pasta de Pb/Sn tem um molhamento maior e mais uniforme que a pasta isenta de Pb, em todas as temperaturas e tempos de exposição da pasta à temperatura ambiente.

Agradecimentos:

À Henkel/Loctite pela doação das pastas utilizadas neste trabalho. À Fapesp através do processo 03/05319-3.

• **Referências Bibliográficas**

- (1) Wassinsk, R.J.K.; **Soldering in Eletronics**; 2.ed, Electrochemical Publications Limited, 1989.
- (2) Capillo, C.; **Surface Mount Technology: materials, processes, and equipment**; McGraw-Hill Publishing Company, 1990.
- (3) Manko, H.H.; **Solders and Soldering**; 2.ed. McGraw-HillBook Company, 1979.
- (4) Loctite; **Engineer's Manual LF300**
- (5) Loctite; **Engineer's Manual MP100**
- (6) Carsak, C.; Uner, J.; Theriault, M.; **Inert Soldering whitth Lead-Free Alloys: Review and Evaluation**