



## **SMT: MATERIAIS, PROCESSOS DE FABRICAÇÃO E RESISTÊNCIA À FADIGA DE SOLDAS.**

**Eliane M. Grigoletto**

**Itamar Ferreira**

Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Eng. de Materiais

Cx.P.6122 - 13083-970 - Campinas, S.P., Brasil

elianemg@fem.unicamp.br

itamar@fem.unicamp.br

**Resumo.** *O empacotamento eletrônico utilizando a tecnologia de montagem de componentes realizada em superfície (SMT) possibilita a miniaturização de circuitos. A indústria da produção eletrônica tem procurado encontrar o melhor compromisso entre tamanho, peso de componentes e de placas de circuito impresso, custo de produção (incluindo retrabalho), qualidade e confiabilidade dos produtos. A eficiência do processo de soldagem de componentes é influenciada pela interação entre os materiais, pelo acerto dos parâmetros envolvidos em cada etapa do processo de soldagem de componentes, pelo comportamento dos materiais utilizados e pela solicitação a que estão submetidos. O empacotamento eletrônico e montagens de circuitos tem sido efetuados com ligas para solda que promovem a junção de materiais preservando as propriedades dos projetos elétrico, térmico e mecânico. Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica sobre os materiais e processos utilizados para a soldagem de componentes eletrônicos, na tecnologia de montagem em superfície (SMT), e descreve a resistência à fadiga em função da temperatura e frequência nas quais as junções são solicitadas. Os resultados de experimentos demonstram que existem variáveis que afetam o processo de refluxo incluindo o equipamento, o projeto da placa, fluxos utilizados e controle do processo. Resultados experimentais demonstram que com o aumento da temperatura, diminui o número de ciclos para que a solda se rompa, e quando a frequência aumenta, o número de ciclos para falhar aumenta. As previsões de vida útil são ainda um grande desafio devido à complexidade do comportamento da junção de solda sob várias condições de serviço e à ausência de dados.*

**Palavras-chave:** *Empacotamento eletrônico, Soldas, Junção de solda, Falhas, Fadiga.*

### **1. INTRODUÇÃO**

A tecnologia de montagem de componentes em superfície possibilita altas densidades de empacotamento e um processo de maior automatização, diminuindo as operações de montagem intensivas realizadas pelos operadores.

A placa de circuito impresso pode ser altamente densa, sem aumentar o peso e o volume da mesma, pode possuir "lay-outs" complexos devido aos componentes utilizados nesta tecnologia.

O processo de soldagem de componentes em superfície automatizado é ideal para volumes contínuos de produto e para grandes produções. Para pequenas produções de diferentes placas de circuito impresso onde se utiliza uma mistura de muitos componentes, o processo de batelada oferece maior flexibilidade (Roffey, 1984).

O processo de soldagem convencional integrado à montagem de componentes em superfície pode ocorrer por dupla onda onde a liga de solda fundida molha os componentes, previamente colados na placa de circuito impresso, em um contato rápido. A soldagem de componentes SMT por refluxo utiliza uma pasta de solda que é disposta sobre a placa de circuito impresso por serigrafia ou por dispositivos do tipo de seringa, sendo os componentes elétricos colocados sobre esta e o conjunto é aquecido em forno.

A ocorrência de flutuações extremas de temperatura em uma montagem durante sua vida útil é um fator que pode causar a fadiga térmica nas junções contribuindo para a diminuição da confiabilidade de componentes soldados sobre superfície, embora existam evidências de que a falha está relacionada com a fluência e não com a fadiga como comentário de Ross (1984).

Este trabalho relaciona informações coletadas em revisão bibliográfica e consiste em descrever os materiais e os processos mais utilizados para a montagem de componentes sobre superfície e elucida a discussão fluência versus fadiga utilizando dados das pesquisas realizadas nesta área, considerando a proposição de Conway, Kalantary, & Williams (1995) de que a maioria dos defeitos de soldagem ocorrem na junção da solda.

## **2. MATERIAIS PARA SOLDAGEM UTILIZADOS EM SMT**

### **2.1. Liga de estanho-chumbo**

A liga de estanho-chumbo é utilizada no formato de barras sólidas na composição 60Sn/40Pb, 63Sn/37Pb e 62Sn/36Pb/2Ag conforme a necessidade da placa.

A liga 63Sn/37Pb é uma liga eutética porque possui ponto de fusão constante. A presença de prata melhora a molhabilidade da liga.

A desoxidação das metalizações é realizada usando um fluxo médio ativado que não precisa ser limpo após a soldagem(fluxo "no-clean").

### **2.2. Pastas de solda**

As pastas de solda são constituídas de pó de solda disperso em um fluxo e um veículo.

Para cada aplicação o tamanho e a forma do metal, a liga, e a composição do veículo e do fluxo são fatores críticos.

As partículas da liga metálica, conforme comentado no informativo técnico Cortesy Multicore (1987), devem ser uniformes para que a pasta possua consistência de deposição porque formas e tamanhos diferentes de partículas não se espalham de modo adequado sobre a placa de circuito impresso.

A inexistência de contaminantes na pasta de solda é fator importante para a soldagem pois estes podem gerar defeitos na solda.

O veículo contém o fluxo e as partículas do metal em suspensão e é responsável pela consistência da pasta, pela sua fluência, sua reologia e não deve permitir a separação dos componentes, deve distribuir e conter a pasta sobre a placa de circuito impresso sem espalhar.

As ligas utilizadas para aplicações em SMT são as de estanho-chumbo por causa do ponto de fusão e da resistência mecânica em várias condições.

As composições usadas para a fabricação de pasta de solda utilizadas para a soldagem de componentes SMT são as citadas no item 2.1 (Anjard, 1985).

Os fluxos usados para pastas solúveis em água são do tipo OA, ácido orgânico e para pastas que não necessitam limpeza posterior à soldagem (pastas “no-clean”) atualmente são do tipo RMA, resina médio ativada.

Os fatos comentados por Anjard (1986) que influenciam na performance da pasta de solda são a viscosidade, a porcentagem de sólidos, os fluxos, as características do pó incluindo a distribuição, tamanho e morfologia das partículas metálicas, a existência de contaminantes, a presença de óxidos superficiais e a soldabilidade.

O avanço da tecnologia de montagem em superfície como comentou Evans (1986) tem exigido novas formulações de pastas de solda sendo necessário maior uniformidade de distribuição de partículas, boa impressão, pouca tendência a formar bolinhas, consistência para depósito e repetibilidade nos lotes.

Para a escolha da pasta devem ser considerados fatores como materiais e processo utilizados e o usuário deve estar certo de que escolheu a pasta mais adequada para suas necessidades.

### 3. PROCESSOS DE SOLDAGEM PARA SMT

#### 3.1. Soldagem por dupla onda

Este tipo de soldagem inicialmente era usado para soldar componentes que possuem terminais que passam através de furos metalizados feitos na placa de circuito impresso e nela se encaixam.

Para que os componentes SMT sejam soldados sobre a superfície da placa pelo processo convencional, estes devem ser afixados sobre ela com um adesivo. A tecnologia mista de soldagem ocorre quando coexistem componentes convencionais e componentes SMT juntamente soldados em uma placa.

Após a fixação dos componentes SMT na placa com adesivo, a placa com todos os componentes passa pela liga de solda fundida.

O banho de solda possui dois tipos de onda.

A primeira onda possui forma turbulenta e tem como função molhar as trilhas e os terminais dos componentes e garantir que existe solda em todos os terminais a serem soldados.

A segunda onda possui formato laminar e tem como objetivo retirar os excessos da solda fundida depositada pela primeira onda e é responsável pela conformidade da solda depositada.

A Fig. 1 apresenta um esquema da soldagem convencional realizada por dupla onda.

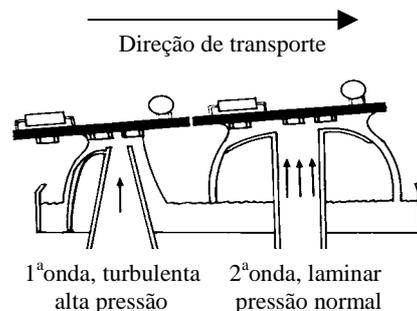


Figura 1 - Esquema de equipamento de soldagem por dupla onda (Velardez & Grigoletto, 1990).

### 3.2. Soldagem de componentes SMT por refluxo

O processo de soldagem por refluxo inicia-se pela escolha da pasta de solda mais adequada aos materiais e às condições dos equipamentos disponíveis.

O depósito da pasta de solda pode ser realizado sobre a placa de circuito impresso pelo processo de serigrafia. No processo de serigrafia uma tela ou um “stencil” é colocado sobre a placa de circuito impresso e a pasta de solda é pressionada por um rodo. A pasta passa através de uma chapa perfurada (“stencil”) ou por uma tela recoberta por resina, que possuem as aberturas necessárias para permitir a realização do depósito desta no formato exigido pelo “lay-out” da placa.

A pasta pode ser depositada por meio de seringas manuais ou automáticas que permitem o depósito puntual de quantidades definidas da pasta sobre locais específicos da placa, como um outro processo alternativo de deposição.

A seguir os componentes são colocados manualmente ou automaticamente sobre a pasta molhada onde estes devem permanecer fixados até o final do processo.

As placas são colocadas em um forno de aquecimento com condições de operação adequadas para o perfil característico da pasta de solda, a densidade de componentes e para o tamanho da placa a ser soldada como pode ser observado no relatório técnico de autoria de Velardez & Grigoletto (1990).

A Fig. 2 abaixo mostra um exemplo das zonas de aquecimento de um forno utilizado para a soldagem de componentes sobre superfície. As zonas de aquecimento possuem temperaturas estabelecidas conforme a necessidade do perfil característico de cada pasta de solda.

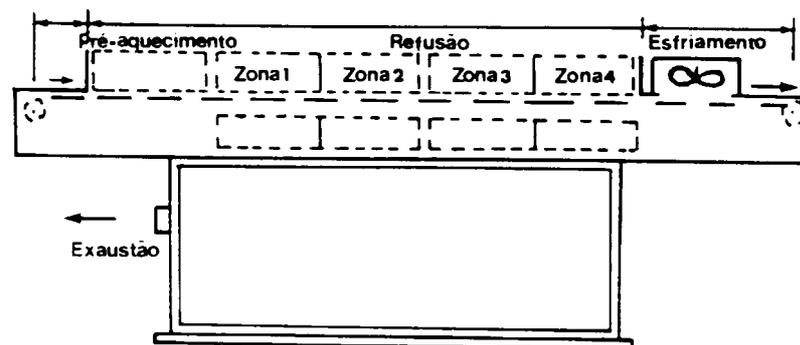


Figura 2 - Zonas de aquecimento de um forno (Velardez & Grigoletto, 1990).

A manufatura da soldagem por refluxo passa por três estágios: o pré-refluxo, o refluxo e o pós-refluxo.

O pré-refluxo inclui as condições de entrega da pasta, as metalizações dos componentes e do substrato, a deposição da pasta de solda e a colocação dos componentes na placa.

Um ou mais mecanismos de transferência de calor estão envolvidos no estágio de refluxo como a radiação, a condução e a convecção que podem ocorrer em atmosfera de ar bem como de gás inerte.

A transferência de calor pode ocorrer entre o forno e a montagem, no interior da montagem, entre as montagens adjacentes e o forno.

Para a montagem por dupla onda ou para a soldagem por refluxo, um fluxo é aplicado na área da junção.

As pastas de solda possuem o fluxo incluído na sua formulação e este é ativado em faixas de temperatura específicas. O metal utilizado para a soldagem está presente na pasta de solda

na forma de pequenas esferas da liga de solda e se funde quando a temperatura de fusão da liga é atingida.

A liga de solda se funde e molha as superfícies que devem ser soldadas e finalmente a solda é resfriada e solidificada. As pastas de solda para montagem de componentes em superfície possuem temperatura de fusão em torno de 235°C, e o perfil de temperatura pode variar para cada tipo de pasta dependendo do tipo de fluxo, do tamanho das partículas metálicas, da curva de distribuição das partículas.

A Fig. 3 abaixo é citada em Schreitmüller (1997) apresenta um perfil de temperatura típico para pastas de solda.

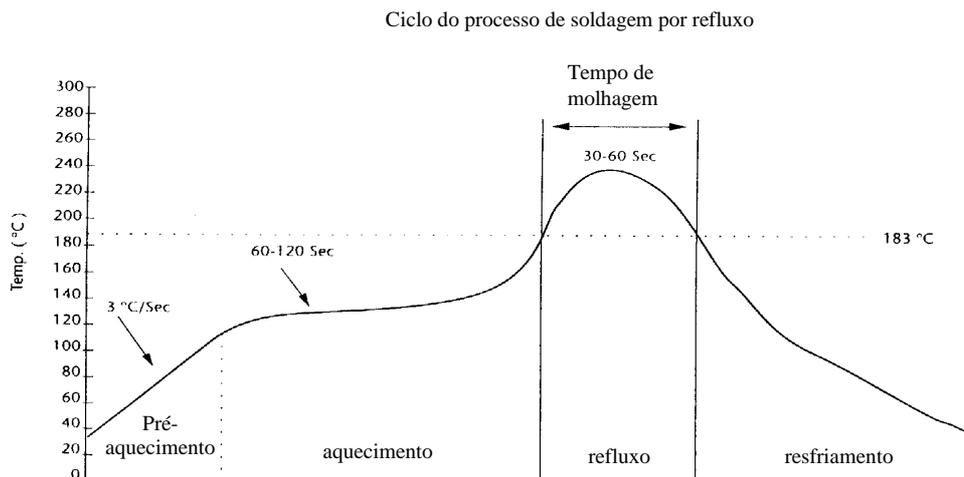


Figura 3 - Perfil típico para forno de aquecimento (Schreitmüller, 1997).

A montagem soldada não necessita de limpeza posterior se a pasta “no-clean” foi utilizada.

#### 4. CONCEITOS BÁSICOS SOBRE FADIGA

O mecanismo de falha de soldas de componentes por SMT normalmente indicado na literatura é a fadiga e/ou fadiga térmica. Entretanto, existem evidências de que a falha pode ocorrer também por fluência (Ross, 1984).

Fadiga é o processo de alteração estrutural que ocorre em materiais que são submetidos a tensões e/ou deformações cíclicas e que podem levar à fratura depois de um determinado número de ciclos. A fadiga pode ser mecânica ou térmica dependendo da origem da tensão.

Os empacotamentos eletrônicos estão sujeitos a flutuações de temperatura que são geradas pelas solicitações da vida em serviço de circuitos ou pelo ambiente externo. As flutuações térmicas, que geram gradientes de temperatura, podem causar tensões e/ou deformações térmicas cíclicas.

A vida em fadiga diminui quando a temperatura excede a metade da temperatura absoluta de fusão do material. Ocorre um decréscimo do número de ciclos e um decréscimo na frequência para a existência da fratura em altas temperaturas.

A magnitude da tensão térmica depende da amplitude da mudança de temperatura, da taxa de aquecimento, das propriedades físicas como condutividade térmica, capacidade

calorífica e densidade. Depende ainda das propriedades mecânicas como limite de escoamento e módulo de Young e de fatores geométricos.

As junções de solda são formadas de materiais com diferentes coeficientes de expansão térmica e este fator pode criar tensões térmicas.

A fadiga mecânica pode ser estudada submetendo o material a tensões cíclicas ou a amplitudes de deformação cíclicas específicas.

A Fig. 4 apresenta exemplo de curva obtida para teste de variação de amplitude de deformação em função do número de ciclos de tensão necessários para causar a falha. O material pode ou não apresentar o limite de fadiga que é o limite de tensão em que o material pode ser ciclado sem fraturar.

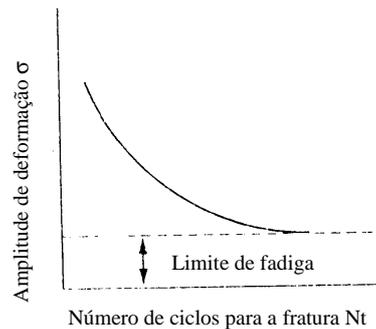


Figura 4 - Curva para teste de variação de amplitude de deformação em função do número de ciclos de tensão para causar falha (Hwang & Koenigsmann, 1997).

A fadiga pode ser dividida em fadiga em baixo ciclo e fadiga em alto ciclo.

As soldas utilizadas em empacotamento eletrônico conforme afirma Hwang & Koenigsmann (1997) tem a vida em fadiga menor que 10.000 ciclos sendo submetidas a altas tensões. São chamadas de fadiga em baixo ciclo.

A falha por fadiga ocorre sem indicação prévia. Na superfície da fratura existe uma região polida que ocorre pela ação de fricção, quando a trinca se propaga por fadiga e uma região rugosa criada pela fratura final porque o material não foi capaz de suportar a carga. O progresso da fratura pode ser observado na superfície do material pela ocorrência de uma série de marcas de praia ou anéis que evoluem a partir do início da falha para o interior do material.

A trinca causada por fadiga pode ser dividida em três estágios: a nucleação da trinca, o crescimento da trinca e a fratura final.

Para ocorrer uma falha por fadiga segundo comentário de Ross (1984) são três os fatores básicos necessários:

- uma tensão de tração suficientemente alta;
- uma significativa variação na tensão aplicada;
- um número de ciclos de tensão suficientemente alto.

Outros fatores que afetam a fadiga são a estrutura metalúrgica da peça, a corrosão, a temperatura e a concentração de tensão.

Com relação à fadiga em alta temperatura, vários autores tem verificado que em temperaturas maiores que a metade da temperatura absoluta de fusão dos metais a principal causa de falha é a fluência.

Pesquisas como as realizadas por Leece, Miskioglu & Nelson (1996) tem demonstrado experimentalmente que em um ensaio de fadiga em soldas 60Sn/40Pb há um aumento da vida em fadiga com o aumento da frequência, na faixa de 0,01 a 0,1Hz, e que existe uma tendência à diminuição da vida em fadiga com o aumento da temperatura, para um ensaio realizado no

intervalo de 20 a 120°C. Essa tendência à diminuição da vida em fadiga com o aumento da temperatura pode estar associado com o fenômeno fadiga-fluência.

## 5. CONCEITOS BÁSICOS SOBRE FLUÊNCIA

O processo de deformação dependente do tempo que ocorre a temperatura e tensão constantes é chamado de fluência. Em metais, como citado anteriormente, o fenômeno da fluência ocorre normalmente em temperaturas acima da metade da temperatura absoluta de fusão.

A fluência pode ocorrer em três estágios: o primário, o secundário e o terciário.

O primeiro estágio apresenta uma taxa de fluência usualmente decrescente com o tempo e tensão. Para condições de baixas temperaturas e baixas tensões o estágio primário é dominante. O segundo estágio predomina para temperaturas que excedem a metade da temperatura absoluta de fusão e é um estado estacionário resultante do balanço entre encruamento e recuperação. No terceiro estágio a taxa de fluência aumenta com o tempo. A estrutura do material pode ser modificada no terceiro estágio sendo fatores como a recristalização, a formação de vazios, e trincas precursoras da fratura citado por Hwang, & Koenigsmann (1997).

A Fig. 5 apresenta uma curva de fluência para uma junta de solda sob tensão de 11,7MPa à temperatura ambiente e mostra os três estágios de fluência.

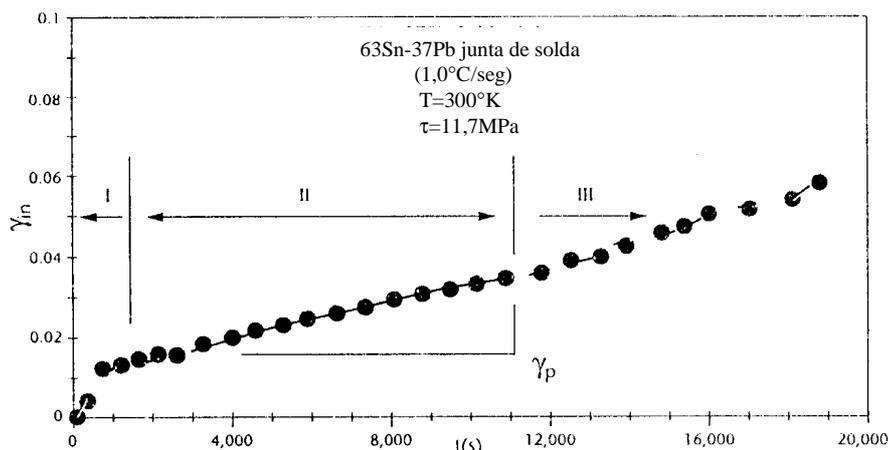


Figura 5 - Curva de fluência par tensão versus tempo para junta de solda (Hwang & Koenigsmann, 1997).

## 6. CONCLUSÃO

O processo de montagem de componentes SMT por refluxo deve ter todas as etapas bem controladas. A qualidade da pasta de solda, a deposição da pasta, a deposição dos componentes sobre a placa de circuito impresso, a adequação do perfil do forno às características da pasta de solda são fatores que influenciam a soldagem e que devem ser cuidadosamente observados durante a produção.

Os principais fenômenos que levam à falha nas junções de solda de componentes SMT são a fadiga e a fluência. Pela revisão da literatura observou-se que há uma tendência de diminuição da vida em fadiga com o aumento da temperatura a que a solda é submetida e uma tendência de aumento do número de ciclos até a fratura com o aumento da frequência de solicitação mecânica da solda.

Diversas pesquisas estão sendo direcionadas para avaliar e analisar experimentalmente o comportamento de junções de solda utilizadas em empacotamento eletrônico, solicitadas térmica e mecanicamente.

## REFERÊNCIAS

- Anjard, R.P., 1985, Solder paste applications for surface mount technology used in PC manufacture, IPC Fall Meeting, Sept.-Oct., Los Angeles, IPC-TP-594, pp.1-6.
- Anjard, R.P., 1986, The rheology of solder pastes, IPC Fall Meeting, September 21-25, San Diego, IPC-Tp-614, pp.1-10.
- Cortesy Multicore, 1987, Solders pastes: today's issues, Assembly Engineering, pp.22-24.
- Conway, P.P., Kalantary, M.R. & Williams D.J., 1995, Experimental investigation of the formation of surface mount solder joints, ASME, EEP-vol.10-1, pp.95-101.
- Evans, G.P., 1986, Specifying solder pastes for surface mounting, Connection Technology, pp.25-27.
- Hwang, J.S. & Koenigsmann, H.J., 1997, On creep and fatigue in solders, SMT, pp.50-54.
- Leece, G.D., Miskioglu, I. & Nelson, D. A., 1996, An experimental investigation of the effects of cycling frequency and temperature on the fatigue life of 60tin/40lead solder, Journal of Electronic Packaging, vol.118, pp.280-284.
- Roffey, N.R., 1984, Solder attachment of SMD'S in a low volume production environment, International Electronics Packaging Conference, October 29-31, IEPS, pp.167-180.
- Ross, D.O., 1984, The creep of Sn60 solder alloy and its impact on leadless chip carriers, International Electronics Packaging Conference, October 29-31, IEPS, pp.181-187.
- Schreitmuller, R., 1997, Soldering, SMT, pp.130-136.
- Velardez, M.R.S. & Grigoletto, E.M., 1990, Processo de soldagem em SMT acompanhamento na indústria, PD.16.TE.MAT.0001A/RT-01-AA, Telebrás S.A.-CPqD, pp.1-23.

### SMT: MATERIALS, FABRICATION PROCESSES AND FATIGUE STRENGTH OF SOLDERS.

***Abstract.** The electronic packaging using the Surface Mounting Technology (SMT) is very important because it makes possible the miniaturization of circuits. Nowadays, the electronic production industry is looking for the best relationship among size, weight of components and the printed circuit board, cost of production (including rework), quality and reliability of products. The efficiency of the component soldering processes are influenced by the interaction among materials, the correct parameters involved in each step of the process of component soldering, the behavior of the materials, and the solicitation that they are submitted. The electronic packaging and the circuit mount have been done with solder alloys that realize the junction of materials preserving the properties of the electrical, thermal and mechanical designs. This work presents a bibliographic revision about materials and processes used to solder Surface Mounting Components (SMC) and describes the fatigue strength in relation to temperature and frequencies in which the junctions are submitted. The results of experiments show that there are variables those influence reflux process including the equipment, the circuit board design, fluxes used and process control. Experimental results show that with the increase of the temperature, there is a decrease of the cycles number to the*

*solder crack and when the frequency increase the cycle number to fail increase. The previsions of time life are yet a great challenge because of the complex behavior of the solder junction under several work conditions services and absence of dates.*

**Key-words:** Electronic packaging, solders, solder junction, fails, strain.