

ALIRIO CAVALCANTI DE BRITO

**CONSIDERAÇÕES SOBRE A UTILIZAÇÃO
DE MICROCIRCUITOS ELETRÔNICOS ENCAPSULADOS EM
PLÁSTICO NAS APLICAÇÕES DE ALTA CONFIABILIDADE**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do Certificado de
especialista em Engenharia da Qualidade-
MBA/USP

**São Paulo
2003**

ALIRIO CAVALCANTI DE BRITO

**CONSIDERAÇÕES SOBRE A UTILIZAÇÃO
DE MICROCIRCUITOS ELETRÔNICOS ENCAPSULADOS EM
PLÁSTICO NAS APLICAÇÕES DE ALTA CONFIABILIDADE**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do Certificado de
especialista em Engenharia da Qualidade-
MBA/USP

Orientador:
Prof. Adherbal Caminada Netto

**São Paulo
2003**

Dedico esta monografia a minha
esposa que muito me ajudou com
a sua compreensão e apoio
emocional, dado durante
a realização desse trabalho
e que finalmente pude levar a um
bom termo.

E, também ao meu saudoso pai.

AGRADECIMENTOS

Aos professores do PECE (Programa de Educação Continuada em Engenharia) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, em especial ao Prof. Adherbal Caminada Netto, aos colegas pela amizade e ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) que mais uma vez contribuiu para a minha formação com a realização dessa especialização. Gostaria de agradecer a Alessandra Martins Toledo que sem a sua ajuda no micro computador, levaria mais tempo para concluir esse trabalho.

RESUMO

Esta monografia apresenta considerações a respeito da utilização de microcircuitos encapsulados em plásticos (MEPs) em aplicações de alta confiabilidade, em particular, nas aplicações espaciais. São também apresentadas as vantagens e as desvantagens de se utilizar tais componentes. As características básicas de construção e os processos envolvidos são apresentados com foco na obtenção da qualidade e da confiabilidade. Defeitos relacionados aos processos de fabricação são apresentados com seus modos e mecanismos de falha. São apresentados procedimentos de avaliação da qualidade, de seleção (screening) de componentes e de ensaios de qualificação usados para se reduzir os riscos de se montar sistemas eletrônicos com componentes defeituosos. Precauções especiais de manuseio e armazenagem de componentes sensíveis à umidade são também apresentadas.

ABSTRACT

This monograph presents considerations on using of Plastic Encapsulated Microcircuits (PEMs) in the high reliability applications, particularly, in the space applications. A discussion of both advantages and disadvantages of PEMs is also presented. Basic PEM construction features and processes are discussed with focus on the quality and reliability issues. For example, common defects, associated with certain processing steps, are listed together with failure modes and mechanisms, which can result from these defects. Quality evaluation, screening and qualification tests, which can be used to reduce the risk of installing defective items into hardware are discussed. Special handling and storage precautions, which must be taken for these moisture-sensitive devices, are also discussed.

SUMÁRIO

Lista de Tabelas	
Lista de Figuras	
Lista de Abreviaturas e Siglas	
Resumo	
Abstract	
1.0 – INTRODUÇÃO.....	001
2.0 - NOÇÕES BÁSICAS DE FABRICAÇÃO.....	004
2.1 - Fabricação dos MEPs.....	007
2.1.1- Fabricação dos “lead-frames”.....	007
2.1.2- Fixação da pastilha.....	009
2.1.2.1- Fixação com polímero.....	009
2.1.2.2- Fixação da pastilha com solda.....	010
2.1.2.3- Fixação da pastilha com liga eutética de ouro-silício.....	011
2.1.3- Conexões.....	011
2.1.3.1- Ligação com fios (“wire-bonding”).....	011
2.1.3.2- Fixação/Conexão enfitada automatizada (TAB).....	012
2.1.4 - Encapsulantes plásticos seus processos e equipamentos.....	012
2.1.4.1- Descrição dos materiais.....	012
2.1.4.1.1- Resinas termofixas.....	013
2.1.4.1.2- Resinas termoplásticas.....	016
2.1.4.2- Processo de moldagem e descrição dos equipamentos.....	017
2.1.4.2.1- Moldagem por transferência.....	018
2.1.4.2.2- Moldagem por reação-injeção.....	023
2.1.5- “Deflashing”, corte e pré-forma dos terminais e soldagem.....	024
2.1.6- Estilos e dimensões de empacotamento.....	026
2.1.7- Estilos de empacotamento com furos passantes.....	027
3.0- CONSIDERAÇÕES GERAIS A RESPEITO DOS MEPS.....	033
3.1- Vantagens dos MEPs.....	033
3.1.1- Disponibilidade.....	033

3.1.2- Custo.....	034
3.1.3- Melhores Características Físico-Elétricas.....	036
3.1.4- Melhoria na Confiabilidade.....	037
3.2- Desvantagens dos MEPs.....	038
3.2.1- Características de não hermeticidade.....	038
3.2.2- Características térmicas inferiores.....	038
3.2.3- Requisitos para controles de armazenagem, manuseio e montagem.....	038
3.2.4- Documentação de controle de processo e aceitação de lote.....	039
4.0- CONSIDERAÇÕES SOBRE CONFIABILIDADE.....	040
4.1- Defeitos e prevenção nos MEPs.....	040
4.1.1- Defeitos termomecânicos.....	042
4.1.2- Defeitos na pastilha.....	042
4.1.3- Defeitos na fixação ou colagem da pastilha.....	043
4.1.4- Defeitos no encapsulamento.....	044
4.1.5- Defeitos na passivação.....	046
4.1.6- Defeitos no “lead-frame” e no suporte da pastilha.....	047
4.1.7- Defeitos nos fios de conexão e nos “wire-bondings”.....	047
4.1.8- Defeitos no empacotamento acabado.....	048
4.2- Mecanismos e modos de falhas não relacionados a defeitos de fabricação.....	049
4.2.1- Corrosão.....	049
4.2.2- Efeito “popcorning”.....	051
4.2.3- Cratera no “bond-pad”	052
4.2.4- Trincas na pastilha.....	053
4.2.5- Deformação na metalização.....	055
4.3- Mecanismos e modos de falha provocados por fadiga.....	056
4.4- Obtenção da Qualidade e da Confiabilidade.....	058
4.4.1- Materiais e processos.....	058
4.4.2- Controle e caracterização dos processos.....	059
4.4.3- Melhoria contínua do processo.....	060
4.5- Efeitos na montagem de placas de circuito impresso.....	061

4.5.1- Processos de soldagem.....	061
4.5.1.1- Desenvolvimento e controle dos processos de soldagem.....	062
4.5.2- Fluxos.....	063
4.5.3- Umidade interna.....	064
4.6- Efeitos em ambientes espaciais.....	065
4.7- Levantamento de Confiabilidade.....	067
4.7.1- Melhoria contínua dos MEPs.....	067
4.7.2- Resultados de ensaios independentes.....	068
4.7.2.1- Primeiros levantamentos de confiabilidade.....	069
4.7.2.2- Levantamentos posteriores de confiabilidade.....	071
4.7.2.2.1- Rockwell International.....	072
4.7.2.2.2- Ministério da Defesa Francês.....	073
4.7.2.2.3- Levantamento do Centro de Pesquisa de Empacotamento Eletrônico.....	077
4.7.3- Taxas recentes de falha dos MEPs	082
5.0- CONSIDERAÇÕES SOBRE AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE.....	084
5.1- Avaliação dos materiais compostos de moldagem.....	084
5.2- Avaliação dos empacotamentos dos MEPs.....	085
5.2.1- Líquido penetrante/micro-secção.....	087
5.2.2- Métodos de microscopia acústica.....	087
5.2.3- Análise física destrutiva.....	093
5.2.3.1- Inspeção visual externa.....	095
5.2.3.2- Radiografia.....	095
5.2.3.3- Microscopia acústica.....	095
5.2.3.4- Absorção de umidade.....	095
5.2.3.5- Conteúdo de umidade.....	096
5.2.3.6- Análise de fabricação do empacotamento.....	096
5.2.3.7- Tensão de ligação e de cisalhamento da pastilha.....	096
5.2.3.8- Inspeção visual interna e inspeções S.E.M.....	096
5.2.4- Remoção do encapsulamento.....	097
5.3- Uso de ensaio de fadiga altamente acelerado com temperatura e	

umidade como ferramenta de diagnóstico (HAST).....	098
5.4- Importância do pré-condicionamento como ferramenta de diagnóstico.....	099
5.5- Screening.....	100
5.5.1- Avaliando a necessidade de “screening”.....	100
5.5.2- Desenvolvimento de um procedimento adequado de “screening”...101	
5.5.3- Métodos de “screening” e defeitos que podem provocar.....	102
5.6- Qualificação.....	109
5.6.1- Quando a qualificação é requerida.....	113
5.6.1.1- A re-qualificação.....	114
5.6.2- Procedimento de qualificação recomendado.....	114
5.6.2.1- Ensaio de fadiga altamente acelerado (HAST).....	115
5.6.2.2- Quantidade de ciclos de temperatura, umidade e potência.....	116
5.6.2.3- Quantidade de ciclos de potência e de temperatura.....	121
5.6.2.4- Resistência ao calor da soldagem.....	122
5.6.2.5- Degasagem.....	122
5.6.2.6- Inflamabilidade.....	122
5.6.3- Comparação das condições de ensaio usados na indústria.....	123
5.6.4- Importância do pré-condicionamento.....	124
5.7- Manuseio e armazenagem.....	125
5.7.1- Controle de absorção de umidade.....	127
5.7.2- Retrabalho de placas de circuito impresso.....	133
5.7.3- Controle das PCIs montadas.....	134
6.0- CONSIDERAÇÕES SOBRE AQUISIÇÃO E UTILIZAÇÃO DOS MEPS.....	135
6.1- Identificação dos requisitos de aplicação.....	136
6.2- Seleção de componentes.....	136
6.3- Dados e informações de apoio.....	137
6.4- Aquisição através de distribuidores.....	137
6.5- Outras sugestões para aquisição de componentes de alta confiabilidade.....	138
6.6- Política sugerida de utilização dos MEPS.....	138

7.0- CONCLUSÃO.....	141
ANEXO A.....	143
LISTA DE REFERÊNCIAS.....	150
BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA.....	156
GLOSSÁRIO.....	158

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Resinas Epóxis normalmente usadas na construção dos MEPs.....	013
Tabela 2.2- Componentes do material de moldagem em epóxi.	015
Tabela 2.3- Processo de moldagem usados na fabricação dos MEPs.....	017
Tabela 3.1- Análise comparativa de custo entre um componente hermético e um em versão MEP.....	035
Tabela 4.1- Resumo dos Resultados de Avaliação de MEPs com datas de fabricação 1976 e 1977.....	070
Tabela 4.2- Resumo da Avaliação de Confiabilidade da Rockwell	073
Tabela 4.3 a- Resultados obtidos após ciclagem térmica mais ensaio 85°C/85% com polarização.....	074
Tabela 4.3 b- Resultados obtidos após ciclagem térmica mais HAST com polarização.....	075
Tabela 4.4 a- Resumo de taxa de falha para um LSC de 60 %.....	081
Tabela 4.4 b- Limite superior de controle da taxa de falha na ciclagem térmica.....	083
Tabela 5.1-Técnicas disponíveis para avaliar propriedades de materiais compostos de moldagem.....	085
Tabela 5.2- Método de ensaio 5009 da MIL-STD-883.....	093
Tabela 5.3- Método de DPA sugeridos para os MEPs.....	094
Tabela 5.4- Método de “screening” e defeitos que podem ser detectados.....	104
Tabela 5.5- Ensaio de Qualificação usados em MEPs.....	117
Tabela 5.6- Comparação das condições de ensaios usados na indústria.....	117
Tabela 5.7- Períodos de tempo (Floor Life) para se alcançar 0,11% em peso.	128
Tabela 5.8- Períodos de tempo (Floor Life) dos componentes empacotados	

com dessecantes.....	132
Tabela A.1-Limites típicos especificados para propriedades de	
materiais de moldagem.....	149

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Vista interna de um microcircuito encapsulado em plástico pós-moldado em empacotamento “Dual-in-Line Package” (DIP).....	004
Figura 2.2- Tiras de “lead-frame”: dois exemplos de “lead-frames” uma para 84 terminais e outra para 100 terminais de SMD.....	009
Figura 2.3- Fixação dos terminais (TAB).....	012
Figura 2.4- Fluxo de um processo típico de montagem dos MEPs.....	019
Figura 2.5- Processo básico de moldagem por transferência	020
Figura 2.6- Vistas lateral e de topo da cavidade e dos “runners” num molde tipo “ cavity-chase”	021
Figura 2.7- Diagrama simplificado de um molde tipo placa de aberturas..	023
Figura 2.8- Esquema de uma unidade de moldagem por reação-injeção....	024
Figura 2.9- “lead-frame” moldado antes das operações de “deflashing” e de “dejunking”.....	025
Figura 2.10- Operação de pré-formação de terminal.....	026
Figura 2.11- Estilos de empacotamento para montagem em furo passante.....	029
Figura 2.12- Empacotamento PPGA para montagem em furo passante....	030
Figura 2.13- Estilos de empacotamento para montagem superficial (SMD).....	031
Figura 2.14- Seção interna de um típico empacotamento fino.....	032
Figura 4.1- a) Defeitos que ocorrem na fabricação dos MEPs..... b) Exemplos de defeitos em MEPs e falhas relacionadas.....	041 042
Figura 4.2- Tipos de defeitos no “ball-bond”.....	048
Figura 4.3- Ilustração mostrando como a trinca do tipo “popcorn” aparece no encapsulamento do MEP.....	054
Figura 4.4- Vista de corte de um MEP mostrando a trinca “popcorn” no encapsulamento.....	055
Figura 4.5- Vista de corte mostrando a cratera sob o “bond-pad”.	055

Figura 4.6- Exemplo de melhoria de projeto	059
Figura 4.7- Taxa de falha de circuito integrado no decorrer do tempo.....	068
Figura 4.8a- Diagrama do plano de ensaio para ciclagem de temperatura.....	077
Figura 4.8b- Diagrama do plano de ensaio para (THB) “Thermal, Humidity, and Bias”	078
Figura 5.1- Inspeção do tipo SLAM feito no MEP.....	089
Figura 5.2a- Imagem acústica do tipo SLAM de um “Plastic Leaded Chip Carrier” (PLCC) sem defeitos na adesão do material de moldagem.....	090
Figura 5.2b- Imagem acústica do tipo SLAM de um PLCC com defeito..	090
Figura 5.3- Inspeção do tipo C-SAM do MEP	091
Figura 5.4- Imagem acústica do tipo C-SLAM de um PLCC.....	092
Figura 5.5- Exemplo de “dry-pack”	129
Figura 5.6- Exemplo de cartão indicador de umidade (HIC).....	130
Figura 5.7- Exemplo de etiqueta de aviso de componentes sensíveis a umidade.....	131
Figura 5.8- Fluxograma do plano de aquisição dos MEPs.....	140

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ag	-símbolo químico da prata
Al₂O₃	-óxido de alumínio
ANSI	-American National Standard Institute (Instituto de Padrão Nacional Americano)
AO	-Ácido Orgânico
AOQ	-Acceptance Outgoing Quality (Nível de aceitação da qualidade de resultados de produção)
ASTM	-American Standard Testing of Materials (Padrão de Ensaio Americano de Materiais)
°C	-graus Celsius
CALCE	-Computer Aided Life Cycle Engineering (Engenharia de Ciclo de Vida Auxiliado por Computador)
CEP	-Controle estatístico do processo
CERDIP	-Ceramic Dual-in-line Package (Empacotamento cerâmico com dupla fileira de terminais)
CET	-Coeficiente de expansão térmico
CMOS	-Complementary Metal Oxide Semiconductor (Semicondutor óxido metálico complementar)
C-SAM	-C-Mode Scanning Acoustic Microscopy (Microscopia acústica de varredura de modo C)
CVCM	-Collected Volatile Condensable Material (Material condensável volátil coletado)
DC	-direct current (corrente continua)
DoD	-Department of Defense
DESC	-Centro de Fornecimento Eletrônico de Defesa
DOE	-design of experiment (Projeto de Experimento)
DPA	-destructive physical analysis (Análise Física Destrutiva)
EIA	-Electronic Industry Associate (Associação das Indústrias Eletrônicas)
ESD	-electrical static discharge (Descarga Eletrostática)

EUA	-Estados Unidos da América do Norte
FITS	-failures in time (quantidade de falhas em 10^9 dispositivos hora)
GSFC	-Goddard Space Flight Center (Centro de Vôo Espacial de Goddard)
HAST	-Highly Accelerated Stress Testing (Ensaio de fadiga altamente acelerado)
HIC	-Humidity Indicator Card (Cartão indicador de umidade)
I/O	-input/output (entrada/saída)
JEDEC	-Joint Device Electronic Commission (Comissão Conjunta de Dispositivo Eletrônico)
LSC	-Limite Superior de Controle
MBB	-Moisture Barrier Bag (Envelope de proteção contra umidade)
MEC	-Microcircuito com encapsulamento cerâmico
MEP	-Microcircuito com encapsulamento plástico
MIL	-Military (militar)
mils	-miléssimo da polegada ($1 \text{ mils} = 1/1000''$)
NASA	-National Aeronautics Space Administration (Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço)
oz	-Ounce (onça)
Pb	-símbolo químico do chumbo
PCC	-Plastic Chip Carrier (Portador plástico de pastilha semicondutora)
PCI	-Placa de circuito impresso
PDIP	-Plastic Dual-in-Line Package (Empacotamento plástico de dupla fileira de terminais)
PGA	-Pin Grid Array (Rede de grade de pinos terminais)
PIND	-Particle Impact Noise Detection (Detecção de ruído de impacto de partículas soltas)
PLCC	-Plastic Leadless Chip Carrier (Portador plástico de pastilha semicondutora sem terminais)
ppb	-partes por bilhões
PPGA	-Plastic Pin-Grid Array (Rede plástica de grade de pinos)
ppm	-partes por milhões
PQFP	-Plastic Quad Flat Pack (Empacotamento plástico quadrado plano)

Q-BAM	-Quantitative B-scan Analysis Mode (Modo de análise de varredura B quantitativo)
QML	-Qualified Manufactures List (Lista de fabricantes qualificados)
RPM	-rotações por minuto
Sn	-Símbolo químico do estanho
SEM	-Scanning Electronic Microscope (Microscópio Eletrônico de Varredura)
SEU	-Single Event Upset (evento único de perturbação radioativa)
SIP	-Single-in-line Package (Empacotamento em fileira única de terminais)
SLAM	-Scanning Laser Acoustic Microscopy (Microscopia acústica de varredura à Laser)
SMD	-Surface Mounted Devices (Dispositivos de montagem superficial)
SSI	-Small Scale Integration
SSOP	-Shrink Small Outline Package (Empacotamento de pequenas dimensões encurtado)
SOP	-Small Outline Package (Empacotamento de pequenas dimensões)
SOT	-Small Outline Transistor (Transistor de pequenas dimensões)
TAB	-"Tape Automated Bonding" (Fixação/Conexão automática enfitada)
Tg	-Temperatura vítrea
THB	-temperature-humidity-bias (temperatura-umidade-polarização elétrica)
TML	-total mass loss (perda total de massa)
TSOP	-Thin Small Outline Package (Empacotamento de pequenas dimensões fino)
TSSOP	Thin Shrink Small Outline Package (Empacotamento de pequenas dimensões fino encurtado)
UL	-Underwriters Labs
UR	-Umidade relativa
VLSI	-Very Large Scale Integration (Integração em muito alta escala)
ZIP	-Zig-Zag in-line Package (Empacotamento em zig-zag)

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho apresenta considerações a respeito dos microcircuitos eletrônicos encapsulados em plástico, necessárias para definição quanto ao uso desses componentes em aplicações de alta confiabilidade. Também tem a finalidade de apresentar as dificuldades e as soluções que foram adotadas ao longo do tempo a respeito da aplicação em sistemas eletrônicos espaciais. Foram inseridas noções básicas de construção, considerações sobre confiabilidade, assim como, alguns levantamentos sobre confiabilidade realizados no exterior, aspectos da qualidade, os efeitos em ambientes espaciais, as técnicas de avaliação, seleção, qualificação, manuseio e armazenagem, assim como, as propriedades físico-químicas e ensaios dos materiais de encapsulamento e por último, mas não menos importante, algumas estratégias de aquisição dos microcircuitos encapsulados em plásticos (MEPs).

Nos primeiros anos da década de 60, os componentes encapsulados em plásticos não tiveram a aceitação pelas comunidades militar e espacial, em razão da sua baixa confiabilidade. Em condições ambientais severas, os componentes encapsulados em plásticos não apresentavam a confiabilidade exigida.

A necessidade de atender o mercado eletrônico de entretenimento, de novos produtos de consumo, tendo como características, portabilidade, compactação, volume e peso reduzidos, motivou o desenvolvimento de uma nova tecnologia de empacotamento e de soldagem de componentes eletrônicos. A tecnologia de montagem superficial, conhecida como SMD, exigiu o desenvolvimento e melhoria de desempenho de novos materiais de encapsulamentos dos componentes eletrônicos encapsulados em plástico.

A tecnologia SMD proporcionou também o aumento de produção dos referidos produtos com a conseqüente diminuição nos seus custos. Este aumento de produção resultou em maior demanda por componentes encapsulados em plásticos, o que fez com que o mercado desses componentes passasse a ser de 98,5% do mercado de componentes eletrônicos fabricados em todo o mundo (independentemente do formato do encapsulamento) (Gardner, 1996). Os restantes 1,5% representaram e

ainda representam, os componentes destinados aos mercados militar e espacial. O que os tornam além de caros, cada vez menos disponíveis.

Mas o fator preponderante na aceitação dos componentes encapsulados em plásticos foi a melhoria obtida, ao longo do tempo, nas características do material encapsulante, possibilitando atingir níveis de confiabilidade tão bons quanto os dos componentes encapsulados em cerâmica de altíssima confiabilidade.

Ainda existe muita rejeição por parte dos projetistas em utilizar componentes com encapsulamento plástico em aplicações de alta confiabilidade, apesar da melhoria alcançada com relação a sua confiabilidade. No exterior, principalmente nas agências espaciais, o emprego desses componentes está sendo cada vez maior, motivado pelo custo, disponibilidade e confiabilidade alcançados até agora.

Todos os satélites desenvolvidos pelo Brasil, até este momento, têm empregado na sua maioria, microcircuitos encapsulados em cerâmica. Alguns programas espaciais de pequeno porte e de curta duração, no exterior, têm adotado os MEPs, com o intuito de baixar os seus custos.

Durante a década de 90, os MEPs atingiram e ultrapassaram os encapsulados em cerâmica, em termos de confiabilidade, o que os tornaram sérios candidatos à maioria das aplicações espaciais. As agências espaciais, em particular, o “Jet Propulsion Laboratory” (JPL) do Instituto de Tecnologia da Califórnia, sob o patrocínio da NASA, têm estabelecidas programas de avaliação e utilização de microcircuitos eletrônicos encapsulados em plásticos, inseridos na classe de componentes conhecidos como “Commercial OFF-THE-SHELF” (COTS). (Sandor, 2000)

Não existe, até este momento, normas específicas de processamento, ensaios e qualificação desses dispositivos que possam ser usados com confiança para o nível de qualidade exigido no setor espacial.

Algumas normas da “Joint Electron Device Engineering Council” (JEDEC) que tratam de métodos e procedimentos de ensaio para os MEPs, preparadas pela Associação Americana das Indústrias Eletrônicas (EIA), são adotadas pelo setor industrial. No setor militar a norma MIL-PRF-38535 (Department of Defense, 1997) apresenta critérios para que fabricantes de MEPs sejam incluídos na lista de fabricantes qualificados, “Qualified Manufacturers Listing” (QML).

2. NOÇÕES BÁSICAS DE FABRICAÇÃO

Os microcircuitos encapsulados em plástico (MEPs), consistem de circuitos integrados, também conhecidos como chips, tendo no seu interior a pastilha, fisicamente fixada a um quadro metálico, conhecido como “lead-frame” **, este, eletricamente conectado aos terminais (“leads”) de entrada e saída (I/O). Todo esse conjunto é moldado e encapsulado numa resina plástica. (ver Figura 2.1)

Os MEPs são diferentes dos demais microcircuitos, por não possuírem cavidades e não utilizarem selagens herméticas, constituídas de metais, vidros e materiais cerâmicos.

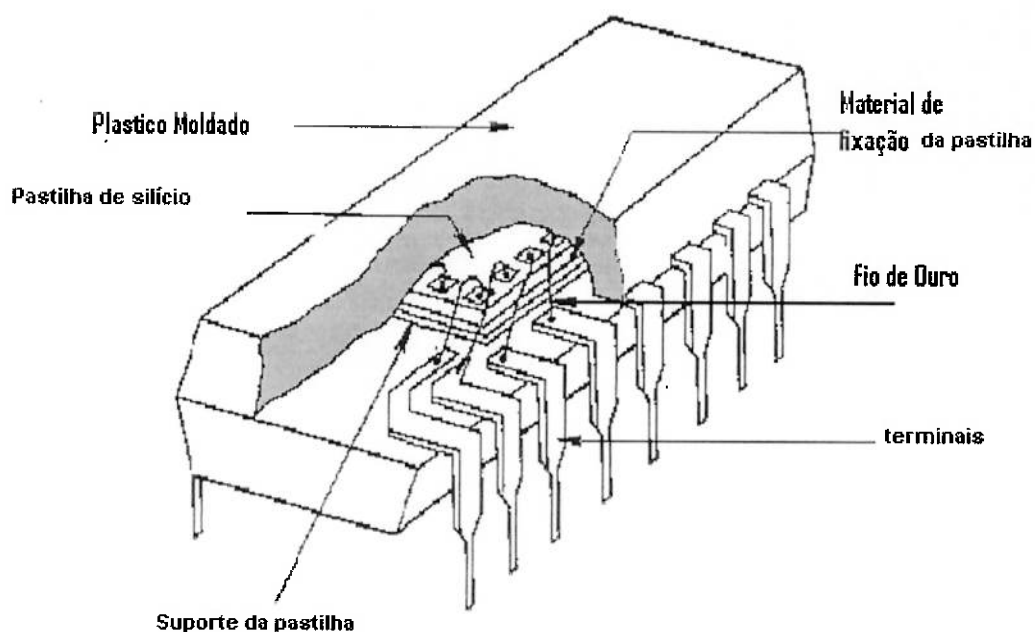


Figura 2.1-Vista interna de um microcircuito encapsulado em plástico pós-moldado em empacotamento “Dual-in-Line Package (DIP)”

* Ver o significado do termo no Glossário, sempre que aparecer o símbolo (*).

O MEP foi desenvolvido nos anos 60 como solução alternativa de baixo custo do hermético selado em cerâmica de alto custo. O MEP apresenta menor custo quando fabricado em alta escala e desde o início de sua aparição foi aceito em aplicação que não exigia alta confiabilidade. No entanto, desde o seu início apresentou problema relacionado à confiabilidade, devido a falta de hermeticidade de seu empacotamento. Essa falta de hermeticidade contribui ao longo do tempo com o aumento das taxas de falha, excedendo assim, aquelas apresentadas pelo componente hermético encapsulado em cerâmica (MEC). Conseqüentemente, não foi aceito em aplicações requerendo alta confiabilidade.

Após alguns anos de sua introdução no mercado, houve melhoria significativa nos materiais e nos processos empregados na fabricação do MEP, resultando numa confiabilidade comparada aos dos herméticos em algumas aplicações.

Pode-se estabelecer 3 fases no desenvolvimento do MEP. O MEP na fase inicial possuía várias alternativas de material de moldagem para seus encapsulamentos, incluindo silicones, fenólicos e vários “epóxis” *. Apresentava vários problemas de intermitência elétrica com a temperatura e com a absorção de umidade e corrosão. Os primeiros materiais compostos apresentavam baixas temperaturas de transição vítrea (T_g) e começavam a derreter e expandir em temperaturas elevadas. Os coeficientes térmicos de expansão desses materiais não eram perfeitamente casados aos das pastilhas, aos fios de interconexão e aos “leads”, com os quais estavam em contato. Como consequência desses efeitos, se a temperatura ambiente excedesse um limiar crítico, a fadiga associada, freqüentemente causava problemas nos “wire-bondings” *, descolando-os de seus locais (“bond-pads”), causando interrupções nos circuitos. Quando a temperatura diminuía, a tensão aliviava, retornando as ligações às suas posições originais, restabelecendo as conexões elétricas.

Os primeiros MEPs também ofereciam baixa resistência à penetração de umidade por causa da fraca adesão entre os materiais de moldagem e ao conjunto

pastilha/ terminais. Quando a umidade alcançava a pastilha, arrastava com ela, resíduos iônicos dos materiais compostos e com o tempo, combinava com estes contaminantes, resultando na corrosão da metalização* da pastilha.

Em meados de 1970, as resinas termo-fixas (epóxi NOVOLAC) foram empregadas na fabricação dos MEPs. As resinas epóxis NOVOLAC tinham Tg mais elevadas e resultaram numa melhoria significativa no desempenho durante a ciclagem térmica. Também, importante, essas resinas epóxis forneciam forte adesão a todos os elementos internos, sem introduzir fadiga excessiva entre eles. Outras melhorias de processo, tais como a cobertura de passivação* da pastilha, reduziram enormemente a ocorrência de mecanismo de falha devido à penetração de umidade e corrosão.

Mais recentemente, a melhoria no material e no processo, tem proporcionado aumento na confiabilidade dos MEPs . Materiais de baixa tensão para fixação da pastilha têm sido desenvolvidos e melhoria no processo tem aumentado as forças de ligação dos fios. Também, durante esta fase surgiram melhores materiais de preenchimento, “fillers” *, com uma notável diminuição das impurezas no processo (particularmente cloro), a introdução de equipamentos automáticos de moldagem e a melhoria na fabricação/acabamento dos “lead-frames” obtendo encapsulamentos mais resistentes a ambientes hostis.

Os MEPs atualmente utilizam processos de moldagem automatizados e são constituídos de materiais plásticos de alta pureza. Os processos da camada de passivação de alta qualidade são usados para proteger a pastilha. Os dispositivos são fabricados numa grande variedade de estilos de empacotamento para montagem de placas de circuito impresso (PCI), empregando furos passantes (“Plated-through hole- PTH”) e montagens superficiais (“Surface Mounted Devices-SMD”).

Métodos altamente efetivos de ensaios e de avaliação de MEPs têm sido desenvolvidos. A taxa de falha dos MEPs tem diminuído de aproximadamente $100/10^6$ de dispositivos-hora em 1978 para $0,05/10^6$ de dispositivos-hora em 1990.

(Watson, 1992 apud Weil et al., 1993). Como resultado, o interesse em usar os MEPs em aplicações militares e espaciais tem aumentado nos últimos anos.

2.1 – Fabricação dos MEPs

O processo de fabricação dos MEPs varia dependendo do estilo de empacotamento. Entretanto, independentemente do processo utilizado, todos os MEPs consistem dos seguintes elementos:

- “lead-frame” metálico,
- Fixação das pastilhas no “lead-frame”,
- Interconexões entre pastilhas e “lead-frame”, e
- encapsulante plástico.

Nas seções seguintes são descritos cada um desses elementos e os processos de fabricação dos MEPs. A Figura 2.1 apresenta uma vista interna de um dispositivo típico após ter completado todos os passos de montagem.

2.1.1 – Fabricação dos “lead-frames”

Os “lead-frames” são feitos de uma liga metálica, servindo de suporte para a pastilha, constitui-se numa peça fundamental do sistema de interconexão. Fornecem, também, um caminho térmico para dissipar a maioria do calor gerado pela pastilha. A liga metálica deve ser selecionada de modo a fornecer uma condutividade elétrica adequada, da pastilha para a placa de circuito impresso (PCI), baixo coeficiente de expansão térmica (CET), resistência à oxidação, resistência mecânica, resistência ao amolecimento, possibilidade de pré-formação e soldabilidade. Nenhuma liga é capaz de atender todas essas características ao mesmo tempo para todas as aplicações, portanto, a solução de compromisso deve ser feita, selecionando-se a melhor liga para uma dada aplicação.

As ligas para “lead-frame” são geralmente de 2 tipos;

- Níquel e ferro, tais como ligas 42 e 50 e
- Cobre, tais como as ligas 94 e 151.

As ligas de níquel e ferro eram utilizadas em quase todas as aplicações, principalmente na dissipação de alta potência, por causa do seu baixo CET. Por outro lado, tinham uma condutividade térmica inferior. Por causa dessa limitação, as ligas de cobre eram usadas mais freqüentemente na fabricação dos “lead-frames” para pastilhas dissipando alta potência. Muitas melhorias foram realizadas nos “lead-frames” de cobre e na sua superfície, conseqüentemente, a tendência atual é usar ligas de cobre em “lead-frames” para quase todas as aplicações.

Os “lead-frames” são fabricados por estampagem ou pelo processo de ataque com mascaramento. Eles fornecem uma interconexão metalizada constituída do seguinte:

- Uma área de suporte central onde é fixada a pastilha;
- Um conjunto de terminais.

A Figura 2.2 apresenta dois exemplos de “lead-frames”, um para 84 terminais e outro para 100 terminais, ambos para SMD.

Diversas tiras metálicas, com função de barras de contenção, chamadas “dam bars”, estão localizadas entre os terminais nos pontos fora da borda do encapsulamento moldado em plástico. Esses “dam bars” são necessários para impedir que o material encapsulante fundido vaze do dispositivo de moldagem para os terminais onde poderia mais tarde prejudicar as operações de corte e pré-forma. As barras adicionais (“shorting bars”) estão localizadas entre os terminais para protegê-los de dano mecânico durante o processamento e manuseio. Uma grande quantidade de “lead-frames” é temporariamente conectada através de uma tira maior para facilitar o processamento automatizado.

Durante a fabricação do “lead-frame”, a preocupação se concentra na obtenção de superfícies e bordas suaves e isentas de rebarbas, (para garantir uma metalização isenta de defeitos) e a precisão dimensional. Os “lead-frames” têm tipicamente acabamento em estanho sobre níquel, estanho-chumbo, paládio, prata ou

ouro para proteger o metal base de corrosão galvânica. No caso da liga da base ser em cobre, o acabamento da superfície é tratado para se prevenir da oxidação, porque o cobre facilmente forma uma película de óxido no ambiente atmosférico. Essa película é prejudicial à adesão entre o “lead-frame” e o encapsulante plástico e também compromete a característica de soldabilidade dos terminais.

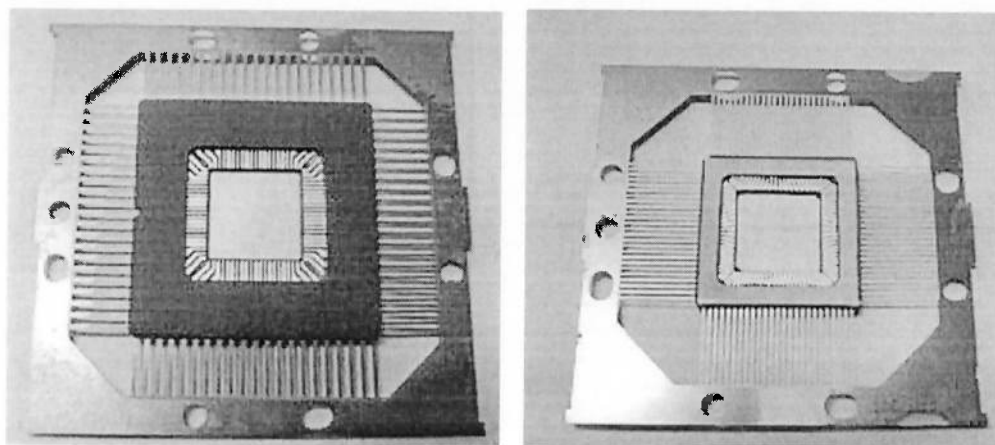


Figura 2.2- Tiras de “lead-frame”: dois exemplos de “lead-frames” uma para 84 terminais e outra para 100 terminais de SMD.

2.1.2 – Fixação da pastilha

A pastilha semicondutora originada do processo de corte do “wafer” * é fixada no suporte do “lead-frame”. Três tipos de fixação da pastilha são usados: polímeros, soldas ou liga eutética de ouro-silício. Desses o mais empregado é o polímero, especialmente os epóxis condutivos. Cada tipo de material de fixação é discutido a seguir.

2.1.2.1 – Fixação com polímero

Os polímeros são resinas epóxis ou poliimidas. São carregadas com setenta a oitenta por cento de prata para uma boa condução elétrica entre a pastilha e o “lead-frame”. A alumina (Al_2O_3) é usada também, onde é necessária uma isolamento elétrico entre a pastilha e o “lead-frame”. Esses materiais podem ser aplicados nas áreas destinadas às pastilhas no “lead-frame” com agulhas ou seringas. Eles podem

também ser estampados ou impressos. Após a colocação, o material deve ser curado tipicamente em 150°C por uma hora.

O uso de polímeros para fixar pastilhas é mais rápido e econômico do que o uso de materiais inorgânicos e os polímeros são mais freqüentemente usados para fixar pastilhas em componentes herméticos. São materiais adequados, com uma excelente resistência aos efeitos da ciclagem de temperatura. Não requerem a aplicação de calor durante o processo de fixação (embora seja necessária a cura térmica após fixação). Além disso, materiais de baixo estresse já foram desenvolvidos com CET próximo ao da pastilha.

Entretanto, há muita preocupação com o uso de polímeros. Vazios podem se formar devido ao ar aprisionado, a incorreta manipulação ou a liberação de solventes durante a cura. Esses vazios podem produzir tensões térmicas e mecânicas na pastilha, nas proximidades dos vazios. O problema dos vazios é aumentado nas grandes pastilhas e podem resultar em desvios dos parâmetros elétricos, devido aos aumentos localizados na temperatura da junção, ou ainda, vazios podem produzir trincas na pastilha. Deve-se notar também que a força de aderência dos adesivos dos polímeros degrada com a alta temperatura de armazenagem. Finalmente, os polímeros absorvem umidade, e controle deve ser exercido durante o processamento, a fim de minimizar esses efeitos.

2.1.2.2 – Fixação da pastilha com solda

Os materiais de fixação da pastilha com solda são usados raramente na montagem dos MEPs. Eles são mais usados em pastilhas com alta dissipação de potência. Os tipos mais usados são:

- 95% Pb / 5% Sn
- 65% Sn / 25% Ag / 10% antimônio

O lado da pastilha que é fixado, deve primeiro receber um tratamento superficial para se obter uma boa aderência. Geralmente é feito aplicando-se um fino depósito de prata sobre o níquel e este sobre titânio. Os pré-formados de solda são

posicionados no suporte da pastilha e após a colocação da pastilha, aplica-se calor. Nenhum fluxo de solda é utilizado, porque eles são possíveis fontes de contaminação.

Com o uso de fixação da pastilha com solda, devemos nos preocupar com a fadiga da solda induzida pela ciclagem térmica.

Vazios podem ser produzidos, se o tempo e a temperatura não forem adequadamente controlados durante o processo.

2.1.2.3 – Fixação da pastilha com liga eutética de ouro-silício

A liga eutética de ouro (98Au/2Si), para fixação da pastilha pode ser usada em conjunto com suporte da pastilha metalizado em ouro em ambos os lados (superior e inferior). Normalmente uma pré-forma contendo 98% em ouro e 2% em silício é usada e fundida na sua temperatura eutética. A pastilha é esfregada no seu suporte para melhorar a fixação. Esta técnica pode produzir trincas verticais na pastilha devido as tensões térmicas geradas durante o processo. O uso da liga eutética além de caro, é um processo que dificilmente permite a automação. Por causa desses motivos esta técnica é raramente empregada na fabricação dos MEPs.

2.1.3 – Conexões

2.1.3.1 – Ligação com fios (“wire-bonding”)

Os terminais no “lead-frame” são freqüentemente conectados a pastilha pelo processo de fixação termo-sônica de fio de ouro. Neste processo, um fio de ouro de 0,025 a 0,032 mm é alimentado através de um tubo capilar e é transformado numa bola na sua ponta no momento da soldagem. A bola é formada e fixada na metalização do “pad” * na pastilha usando ferramenta que emite um pulso de energia ultra-sônica. O fio é arqueado e sua extremidade livre é normalmente colocada na posição apropriada do “lead-frame” na forma de cunha. Este processo requer uma temperatura do substrato relativamente baixa (100-150°C) necessária para se evitar a deformação da metalização * do “bond-pad”; portanto, é compatível com o uso de materiais orgânicos de fixação da pastilha.

2.1.3.2 – Fixação/Conexão enfitada automatizada (“Tape Automated Bonding”-TAB)

O TAB é uma alternativa para o “wire-bonding”. É normalmente usado para conexões entre a pastilha e os terminais para dispositivos complexos com um grande número de terminais e pequeno espaçamento entre “bond-pads”. Uma fita polimérica contínua com uma configuração do “lead-frame” é posicionada sobre cada pastilha. A pastilha é colocada na abertura introduzida no “lead-frame”. Usando pressão e temperatura elevada, os “fingers” internos do “lead-frame” são fixados, simultaneamente nas plataformas ou “bumps” na pastilha (Figura 2.3).

Os TABs têm sido pouco utilizados e ainda persistem muitos problemas para serem resolvidos. Por exemplo, as espessuras dos “lead-frames” têm de ser reduzidas para acomodar o espaçamento dos pequenos “bond-pads”. Isto pode acarretar no deslocamento do suporte da pastilha ou dano para os “fingers” do “lead-frame” como resultado do fluxo plástico durante o processo de moldagem.

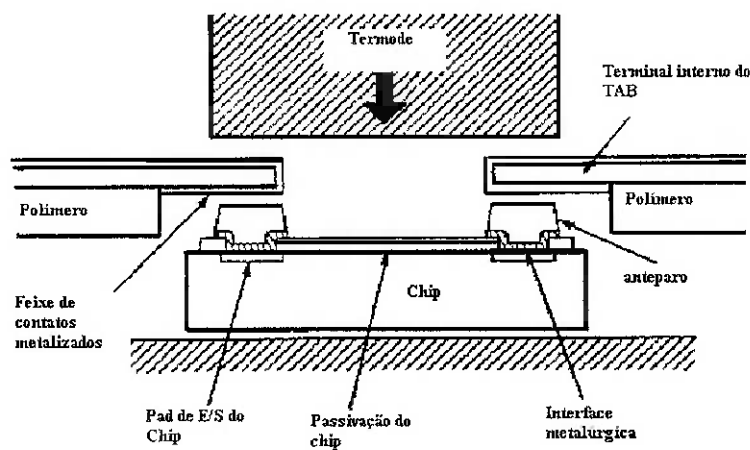


Figura 2.3- Fixação dos terminais (TAB)

2.1.4 – Encapsulamentos plásticos seus processos e equipamentos

2.1.4.1 – Descrição dos materiais

Os materiais de encapsulamento usados na fabricação dos MEPs são geralmente de 2 tipos:

- resinas termo-fixas e
- resinas termo-plásticas.

Dessas duas, as resinas termo-fixas são as mais utilizadas.

2.1.4.1.1 – Resinas termofixas

As resinas termo-fixas têm estruturas moleculares cujas moléculas tornam-se irreversivelmente ligadas, “cross-linked”, durante a cura em alta temperatura, produzindo uma excelente resistência. Uma vez curados, são incapazes de serem fundidos. Exemplo desses materiais são epóxis, silicones e muitos outros polímeros. As resinas epóxis são os tipos mais comuns, usados como constituintes básicos dos composto de moldagem dos MEPs. Três tipos de resinas epóxis são usados (Tabela 2.1).

Tabela 2.1- Resinas Epóxis normalmente usadas na construção dos MEPs

Tipo da resina	Propriedades
Éteres de bifênol A diglicidil (DGEBA) ou bifênol F (DGEBF)	Sintetizado a partir de derivados de petróleo; prontamente adaptável como encapsulante; DGEBF é menos viscoso que o DGEBA
Fenólicos e “Novalacs Cresol”	Também sintetizado de derivados de petróleo; inicialmente sólido; apresenta superior desempenho com temperatura elevada.
Epóxis cicloalifáticos	Sintetizado e geralmente curado com ácido anídrico dicarboxílico; oferece excelentes propriedades elétricas e resistência a ambientes

Todas essas resinas, basicamente, possuem boas propriedades químicas e mecânicas, baixa absorção de umidade, excelentes características de molhabilidade, excelente adesão e estabilidade térmica. No estágio fluido, elas têm baixa viscosidade e podem fluir sobre a pastilha, conexões e “lead-frames” sem causar danos. Elas podem suportar temperaturas de soldagem sem se deformarem. Além disso, elas são adequadas para todos os métodos de processamento de resinas termofixas e podem ser curadas na pressão atmosférica.

As resinas epóxis são geralmente misturadas com muitos aditivos, em várias concentrações, para melhorar seus desempenhos. Os principais aditivos, cuja composição são freqüentemente fórmulas patenteadas, incluem agentes de cura (endurecedores), aceleradores, “fillers” inertes, agentes acopladores, retardantes à chama, aditivos aliviadores de tensão, agentes corantes e agentes desmoldantes. A Tabela 2.2 lista esses aditivos e inclui uma breve descrição de seus usos.

Tabela 2.2- Componentes do material de moldagem em Epóxi (Baluck et al. Apud Pecht, 1994)

Componentes	Concentração em peso (%)	Funções	Agentes típicos
Resina Epóxi	10-20	Aglutinador; aumenta a característica de moldagem, a velocidade de cura, a viscosidade do material fundido e a resistência a vazios; gera desvio mínimo do desvio do suporte do “wire-sweep”; controla o nível do contaminante iônico.	Epóxi “Cresol-Novolac” (alta temperatura); DGEBA
Agente de cura (endurecedor)	5-15	Aumenta a característica de moldagem, melhora as propriedades elétricas, aumenta a resistência ao calor e a umidade.	Aminas, fenóis e ácidos anidridos
Catalisador	Muito baixa (1)	Aumenta a taxa de polimerização to diminuir o tempo de cura no molde	Aminas, imidazoles organofosfinas, uréias, “Lewis acids” e seus sais orgânicos (preferido)
Agentes acopladores	Muito baixo (<1)	Promove adesão interfacial entre matriz polimérica e “filler” inorgânico; melhora a resistência ao calor e a umidade; aumenta ou diminui a viscosidade do material de moldagem	Silanos, titanatos, “aluminum chelates” e zircoaluminatos

Continua.

Tabela 2.2- continuação

Componentes	Concentração em peso (%)	Funções	Agentes típicos
“Filler”	50-75	Fornece menor CET, aumenta condutividade térmica, melhora propriedades elétrica e mecânica.	Silica fundida moída (largamente usada), alumina
Retardante a chama	2-5	Retarda a chama	Epóxis com bromo, trióxido com antimônio
Agente de liberação do molde	traços	Ajuda a soltar o material encapsulante do molde; minimiza o ingresso de umidade e a corrosão	Silicones, graxas hidrocarbonos, sais inorgânicos de ácidos orgânicos
Agente colorantes	5	Reduz a atividade fotônica; fornece visibilidade ao dispositivo, estético	Preto carvão
Aditivo aliviador de tensão	1	Inibi propagação de trinca, reduz iniciação de trinca; reduz o encolhimento termo-mecânico	Silícios, borrachas acrilonitrilobutadieno, acrilatos polibutil

2.1.4.1.2 – Resinas termoplásticas

Os materiais termoplásticos consistem de longas cadeias moleculares que não são fisicamente ligadas. Como resultado, esses materiais podem fundir e refundir em altas temperaturas. Os termoplásticos são comprados em grãos e são amolecidos e trabalhados usando equipamentos especiais. Endurecem rapidamente transformando-se em sólidos. Entretanto, possuem alta viscosidade e requerem muita alta pressão, a fim de assegurar adequado fluxo durante o processo de moldagem. Como resultado,

os termoplásticos são menos usados que as resinas termo-fixas para uso na fabricação dos MEPs.

2.1.4.2 – Processo de moldagem e descrição dos equipamentos

Vários processos de moldagem são usados para encapsular MEPs. Uma comparação desses processos é apresentada na Tabela 3.3.

Tabela 2.3- Processos de moldagem usados na fabricação dos MEPs

Método de encapsulamento	Vantagens	Desvantagens
Moldagem por transferência (1)	Cavidades múltiplas. Alto “yield” *. Economia relativa de materiais. Ciclo curto de tempo. Custos baixos de ferramental de manutenção	Alta pressão de moldagem Restrito ao empacotamento de “lead-frames”
Moldagem por injeção (raramente usado)	Bom acabamento superficial	Usado exclusivamente com termo-plásticos que têm alta viscosidade e requer altas pressões
Moldagem por reação injeção (raramente usado)	Eficiência energética Baixa pressão de moldagem Boa molhabilidade da superfície da pastilha Adaptabilidade ao TAB	Poucos sistemas de resina disponíveis para empacotamento eletrônico Requer boa mistura

(1) A moldagem automática é um tipo de moldagem por transferência que se caracteriza por controles de pré ajustagem e operações altamente automatizadas. Reduz operações manuais, resultando em controles de processos melhorados, apresentando poucos defeitos.

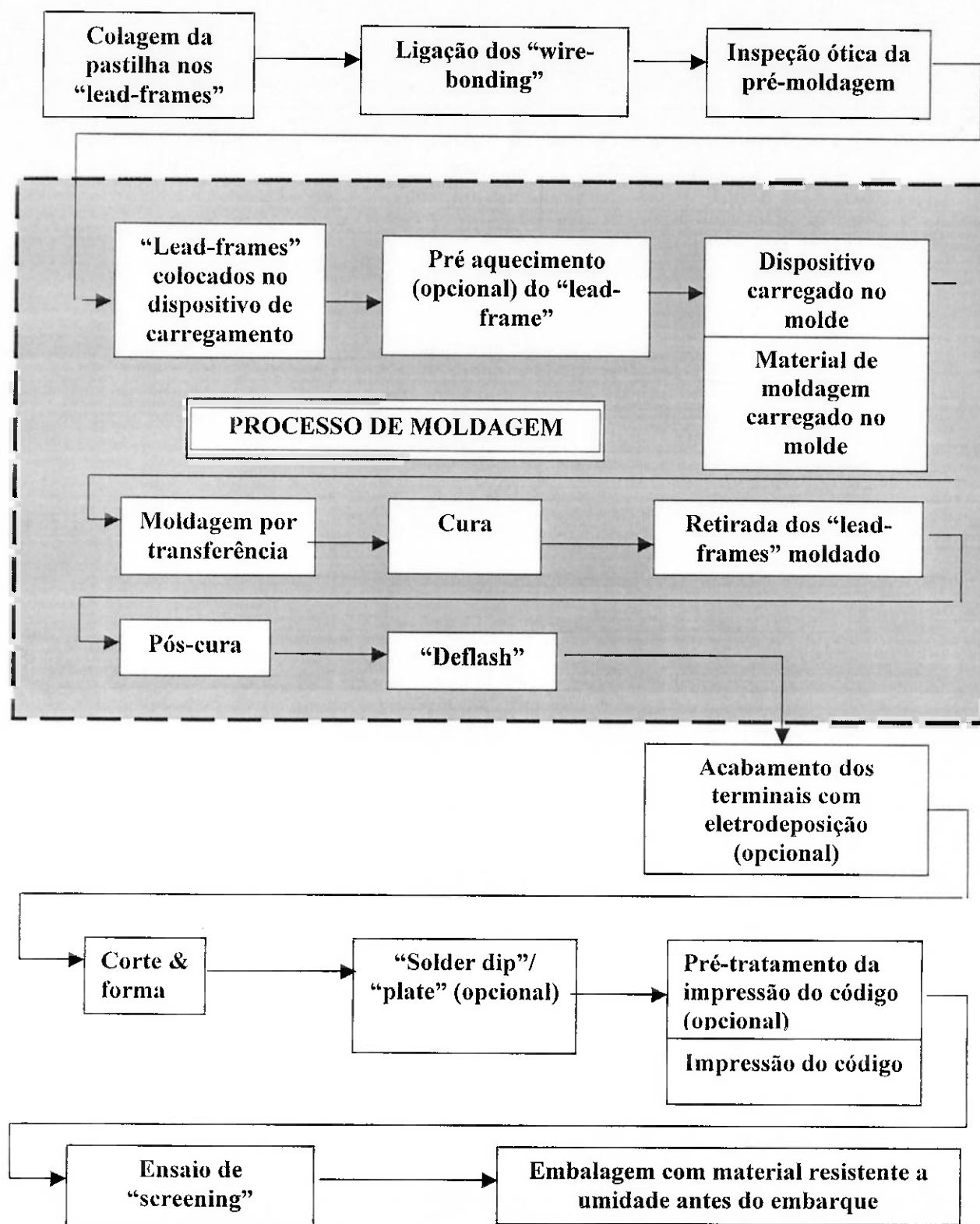
Os encapsulamentos plásticos podem ser pré-moldados ou pós-moldados. Na pré-moldagem, uma base plástica é a primeira a ser moldada, a pastilha é colocada sobre a base plástica e conectada a uma configuração de I/O (entrada/saída) desejada. No final uma tampa separada de plástico é colada à base. A técnica de pré-moldagem não é muito usada nos MEPs; quando usadas são restritas a dispositivos com alta contagem de pinos, como os “pin-grid arrays” (PGAs) com complexas configurações de entrada e saída.

Na pós-moldagem, os “lead-frames” com as pastilhas coladas são colocados num sistema de múltipla cavidade e encapsulados com material moldante, num único procedimento de moldagem. Os encapsulamentos pós-moldados são de menor custo que os pré-moldados por causa de poucos constituintes, partes e poucos passos de montagem. Como resultado, os processos de pós-moldagem são predominantemente usados na produção do MEP.

Três tipos básicos de processos pós-moldagem podem ser usados: moldagem por transferência, moldagem por injeção e por reação-injeção. Cada um destes é apresentado a seguir.

2.1.4.2.1 – Moldagem por transferência

A moldagem por transferência é o método de fabricação mais empregado. A Figura 2.4 mostra o fluxograma de um processo típico de moldagem e o local em que ocupa no processo global de fabricação do MEP. A Figura 2.5 é uma apresentação pictórica do processo de moldagem por transferência



Nota: As operações dentro do quadro tracejado formam o processo de moldagem, enquanto que as de fora, formam as operações de montagem, testes, etc.

Figura 2.4- Fluxo de um processo típico de montagem dos MEP

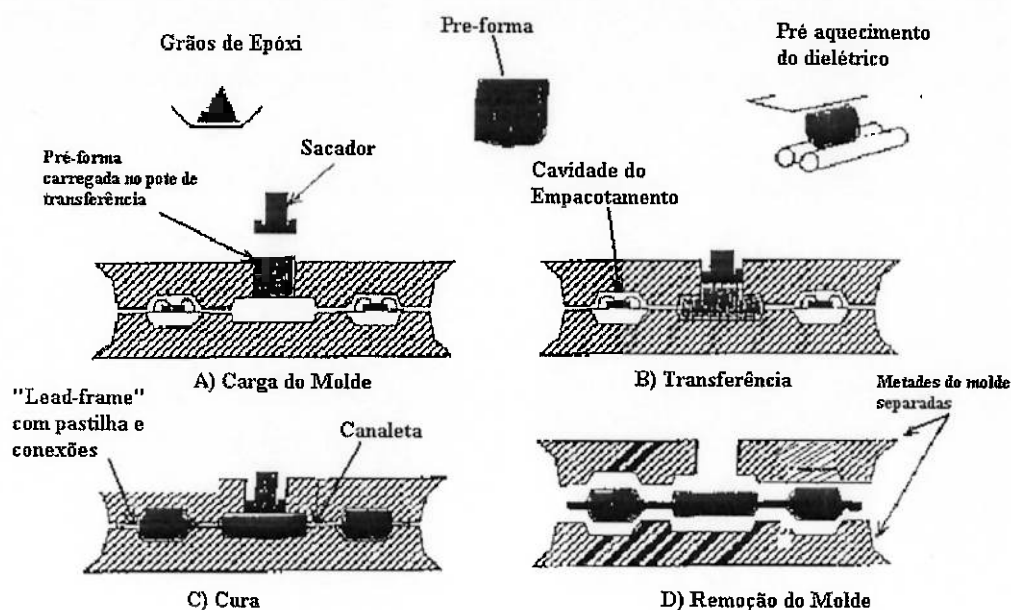


Figura 2.5- Processo básico de moldagem por transferência

O equipamento usado na moldagem por transferência, tipicamente, consiste de um container cilíndrico de transferência ou um pote, usado para manter a pré-forma do material de moldagem, um sacador de pressão aquecido e hidraulicamente ativado e propriamente o conjunto de moldagem. O sacador é usado para fundir o material de moldagem e forçá-lo no molde. O molde geralmente contém uma série de canaletas ("runners" *) e entradas ("Gates") e de uma quantidade de cavidades com um formato desejado. As canaletas servem como conduites ou sistema de distribuição e direcionam o fluxo do material de moldagem fundido para todo o molde. As entradas são canais de transição posicionados entre as canaletas e as cavidades de empacotamento. São de pequenas dimensões, menores que as canaletas (geralmente afuniladas em larguras e/ou profundidade). As entradas são usadas para ajudar a regularizar a temperatura, a viscosidade e a taxa de fluxo do material moldante, enquanto flui nas cavidades do empacotamento que contém os "lead-frames" a serem encapsulados.

O molde é a chave do processo de encapsulamento e é geralmente projetado para um componente e um processo particular. Os tipos mais comuns de moldes usados para moldagem por transferência são chamados de “split cavity-chase molds”^{*}. Esses moldes são usinados a partir de blocos e placas de aço e montadas em duas metades, em uma estrutura maior. A metade desta estrutura contém o sistema de canaletas e portas, e a metade de cada cavidade individual do empacotamento do dispositivo. Os pinos ejetores são usados para expulsar os componentes moldados para fora das cavidades (Figura 2.6). Os sistemas de blocos com cavidades, e os pinos ejetores são removíveis e substituíveis para diferentes projetos de empacotamento.

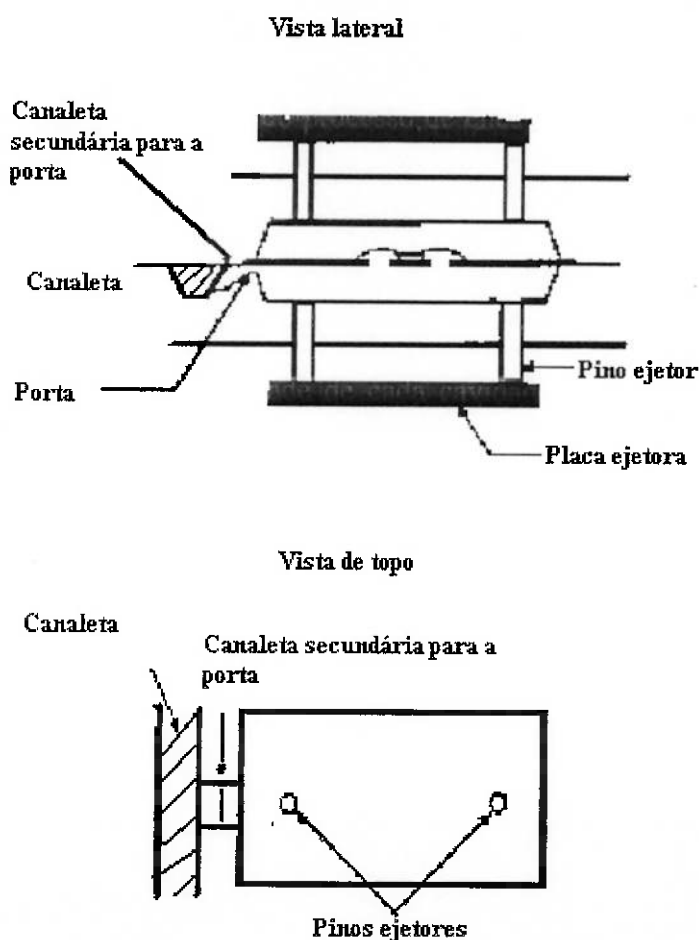


Figura 2.6- Vistas lateral e de cima da cavidade e das canaletas no molde tipo “cavity-chase”

A sequência de moldagem começa com o carregamento dos “lead-frames” no fundo da metade do molde. Cada cavidade do empacotamento dentro do molde é projetada para acomodar um “lead-frame” somente. As metades do molde são aquecidas na temperatura de transferência do molde. O molde é fechado e a pressão do “clamping” é aplicada. Após o molde ser fechado, a pré-forma do material de moldagem é colocada no pote de transferência. A pré-forma, formada de uma composição granular, é pré-aquecida a uma temperatura abaixo da temperatura de transferência. O sacador de transferência é ativado. Enquanto o material de moldagem é mais aquecido pelo sacador, fundi e flui sob pressão através do orifício em direção ao molde. Lá ele passa pelo sistema de distribuição de canaletas e portas, e finalmente nas cavidades de empacotamento. Uma pressão adicional no empacotamento é aplicada mais uma vez, após o preenchimento do molde. Enquanto o material é transferido para o molde, o material se polimeriza. A viscosidade aumenta, enquanto as moléculas reagentes tornam-se cada vez maiores e o material se gelatiniza. Neste ponto, as moléculas estão altamente ligadas (“cross-linked”). Durante este processo, a temperatura, a pressão e a taxa de fluxo devem ser cuidadosamente controlados de modo que cada “lead-frame” individual seja encapsulado sem a imposição de forças excessivas sobre ele. Por exemplo, uma velocidade de fluxo muito rápida na cavidade, pode deslocar a pastilha do suporte ou causar o efeito “wire-sweep” * nos fios. Esse, por sua vez, pode produzir mecanismos de falha tais como, levantamento do “wire-bonding” ou curto circuito entre os fios de conexão. É importante que comprimentos excessivos e grandes voltas de fios sejam evitados durante o “wire-bonding”.

Outros tipos de dispositivos e de processos de moldagem são usados em MEP em menor escala. Moldes com placa de abertura e “multi-plunger” * são usados para moldagem por transferência. Os moldes com placas de abertura, (Figura 2.7) onde os “lead-frames” são carregados entre duas placas de abertura, usam pinos de alinhamento em vez de um sistema injetor. Eles aquecem e esfriam muito rapidamente e são altamente flexíveis para diferentes tipos de empacotamento e contagem de pinos. Os moldes de “multi-plunger” são versões menores dos moldes

tipo “cavity-chase”. Eles são altamente automatizados, e realizam múltiplas pressões de transferência que alimentam até 4 cavidades de empacotamento de cada pote de transferência.

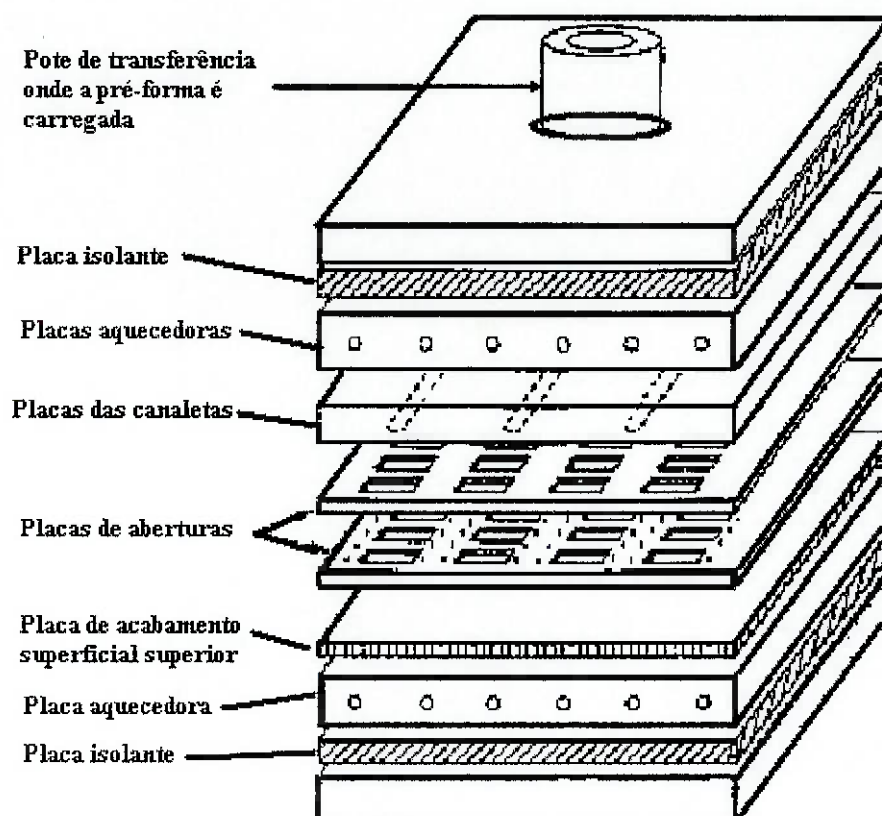


Figura 2.7- Diagrama simplificado de um molde tipo placa de aberturas

2.1.4.2.2 – Moldagem por injeção a reação

A moldagem por injeção a reação é um tipo de moldagem que utiliza resinas poli-uretânicas e poliéster. Os componentes líquidos reativos são preparados separadamente, bombeados na cabeça do misturador onde eles são totalmente misturados (Figura 2.8). As resinas líquidas misturadas são então forçadas no molde aquecido. As peças são curadas do mesmo modo que no processo por transferência. Peças maiores podem ser moldadas a baixo custo, usando este processo. Entretanto, as desvantagens são a escolha limitada de materiais, propriedades físicas de baixo

desempenho e dificuldade de controlar o processo de reação. Este processo é raramente utilizado para MEPs.

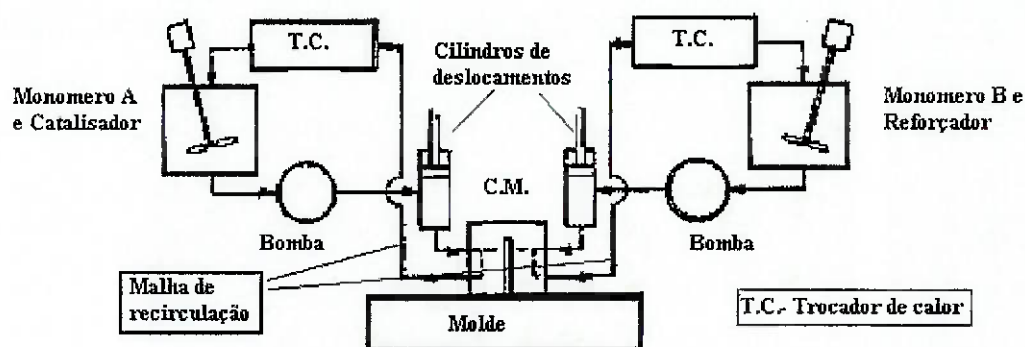


Figura 2.8- Esquema de uma unidade de moldagem por injeção a reação.

2.1.5 – “Deflashing” *, corte e pré-forma dos terminais e soldagem

Durante o processo de moldagem, um dos materiais de moldagem pode escorrer entre as metades do molde. Este material vazado é referido como “bleed” ou “flash” e deve ser removido (“deflashed”) de modo não causar problemas durante as operações de corte, pré-formação e soldagem por mergulho em cadinhos.

O “deflashing” pode ser realizado por abrasão mecânica (exposição a vapor pneumático em alta pressão, contendo pequenas bolinhas de plásticos, cascas de noqueira trituradas, etc) exposição a vapor d’água de alta pressão ou uso de solventes quentes. O material de moldagem remanescente que não é removido prontamente por essas técnicas, deve ser removido com ferramental especial. A Figura 2.9 apresenta o “lead-frame” moldado antes das operações de “deflashing” e de “dejunking”.

Durante os processos acima, cuidados devem ser tomados para se evitar dano ou deformação no “lead-frame”. Isto é particularmente importante com MEPs com pequenos “pitches” *, alta contagem de pinos, “fingers” * do “lead-frame” mais finos (estreitos) e mais frágeis.

Após as operações de “deflashing” e de “dejunking”, os componentes individualmente são puncionados (removidos) do quadro enfitado (“lead-frame”) e os terminais são cortados e pré-formados na configuração desejada. Os “fingers” do “lead-frame” tornam-se eletricamente isolados, depois que uma prensa de estampagem automática remove as barras de contenção e de curto-circuito. Os terminais são pré-formados com uma ferramenta de pré-formação (Figura 2.10).

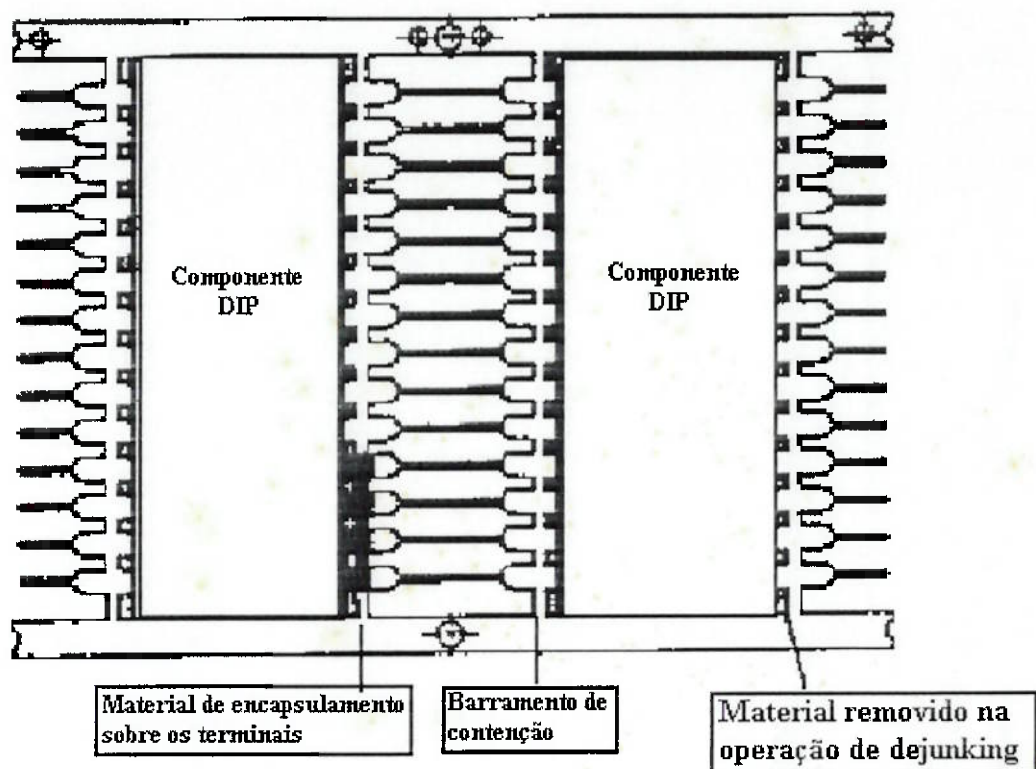


Figura 2.9- “lead-frame” (quadro enfitado de terminais) moldado antes das operações de “deflashing” e de “dejunking”

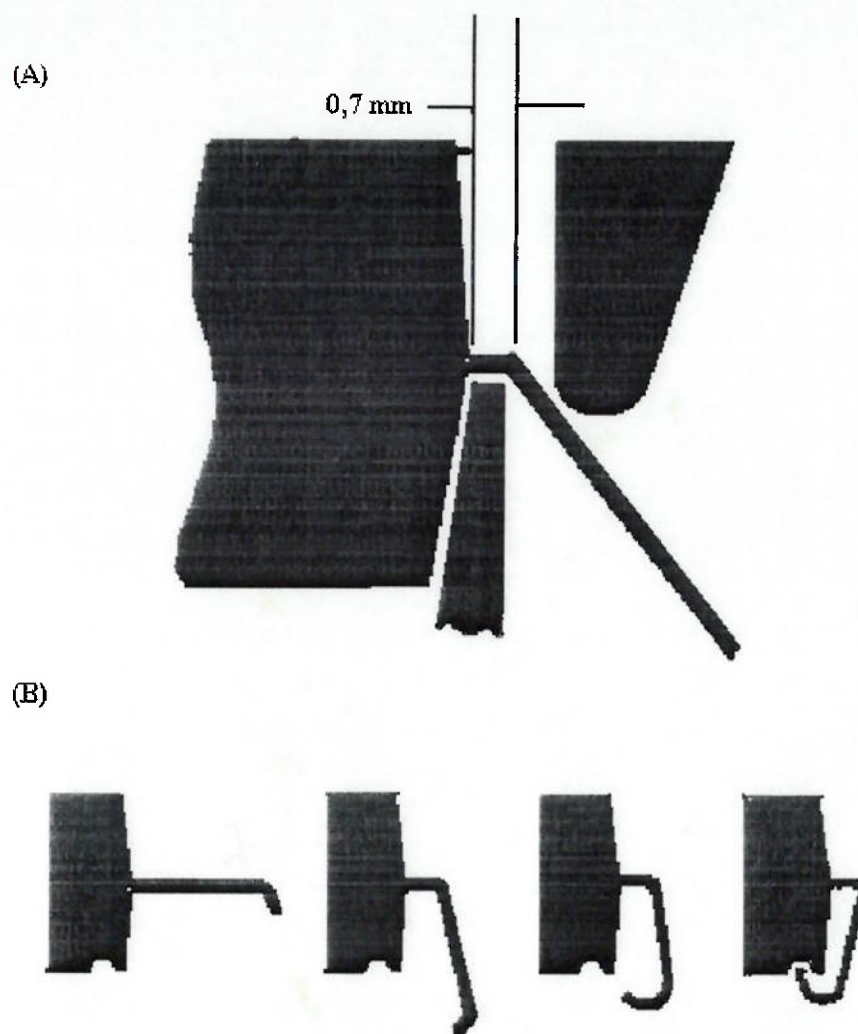


Figura 2.10- Operação de pré-formação de terminal

Todos os terminais dos dispositivos de encapsulamento plástico são metalizados através de mergulho em solda para facilitar a montagem do componente em placa de circuito impresso (PCI). Uma cobertura fina de solda de no máximo 0,0127 mm (0,0005") é aplicada.

2.1.6 – Estilos e dimensões de empacotamento

Os MEPs são disponíveis em vários estilos de encapsulamento e de configuração de terminais. Estes se apresentam em duas categorias básicas, isto é, aqueles que são projetados para montagem em furos passantes em placas de circuito impresso e aqueles que são projetados para montagem superficial. Os tipos de

encapsulamentos podem ser agrupados por família, largura do encapsulamento e quantidade de terminais. São todos sólidos, leves e de menor custo para fabricar que os tipos hermeticamente selados.

Os mais utilizados são os MEPs de furos passantes; os “Plastic Dual-in-line Packages” (PDIP), os “Single-in-line Packages” (SIP) e os “Plastic Pin-Guid Arrays” (PPGA). Para aplicação em montagem superficial, têm-se os “Small Outline Package” (SOP), “Plastic Chip Carrier” (PCC) e o “Plastic Quad Flat Pack” (PQFP). Figuras de 2.11 a 2.13 mostram esses estilos de encapsulamento. Cada um deles é descrito a seguir.

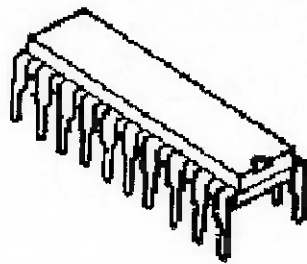
2.1.7 – Estilos de empacotamento com furos passantes

Os PDIPs são de longe a maior família de encapsulamento de plástico e são fabricados em larga escala para uma grande quantidade de aplicação. Os PDIPs consistem de um corpo retangular com terminais alinhados em cada lado. Os terminais estão distanciados um do outro de 2,54 mm (100 mils). As larguras do corpo são 7,62 mm (300 mils), 10,16mm (400 mils), 15,24 mm (600 mils) e 22,86mm (900 mils). Quantidade de pinos varia de 4 a 64. Os PDIPS são usados para circuitos lineares, lógicos, microprocessadores e redes de portas. (Figura 2.11 A mostra um exemplar deste tipo de encapsulamento).

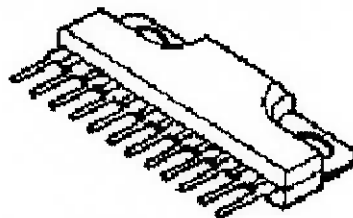
Os SIPs são similares aos PDIPS mas possuem terminais somente de um lado. Um exemplo é mostrado na Figura 2.11b. Uma variação do SIP é o encapsulamento zig-zag alinhado (ZIP). Nesse encapsulamento, os terminais são posicionados em duas linhas alternadas. (Figura 2.11c). Os terminais estão afastados de 1,27 mm (50 mils); entretanto, os terminais são posicionados de modo que o espaçamento entre os terminais adjacentes em linha seja de 2,54 mm (100 mils); isto permite a montagem em grade de 2,54 mm (100 mils). Os SIP/ZIPS são tipicamente usados em encapsulamento de circuitos lógicos.

PDIPs, SIPs e ZIPs são acondicionados e transportados em tubos plásticos e podem ser embalados com segurança sem que os terminais entrem em contato.

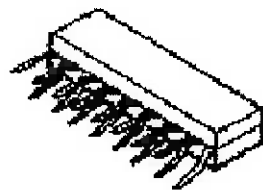
Os PPGAs, Figura 2.12, são encapsulamentos que possuem pinos encravados e posicionados num sistema de grade, embaixo de um componente com corpo plástico na forma de um quadrado. Os pinos são freqüentemente posicionados numa grade de 2,54mm (100 mils). Os PPGAs são fabricados em várias dimensões. Eles oferecem a maior densidade e contagem de pinos de todos os encapsulamentos com montagem de furo passante. O casamento de impedância é realizado entre o encapsulamento e a pastilha. Os pinos podem ser usados como dissipadores de calor, se necessário. Os PPGAs são normalmente usados em encapsulamentos complexos e em circuitos de alto desempenho. O uso de PPGAs com grande contagem de pinos (maior que 150) deve ser tratado com certa cautela, por que uma remoção adequada do calor é difícil de se obter.



(a) Plastic Dual-In-Line Package (PDIP)



(b) Single-In-Line Package (SIP) Power Type



(c) Zig-Zag In-Line Package (ZIP)

Figura 2.11- Estilos de empacotamento para montagem em furo passante

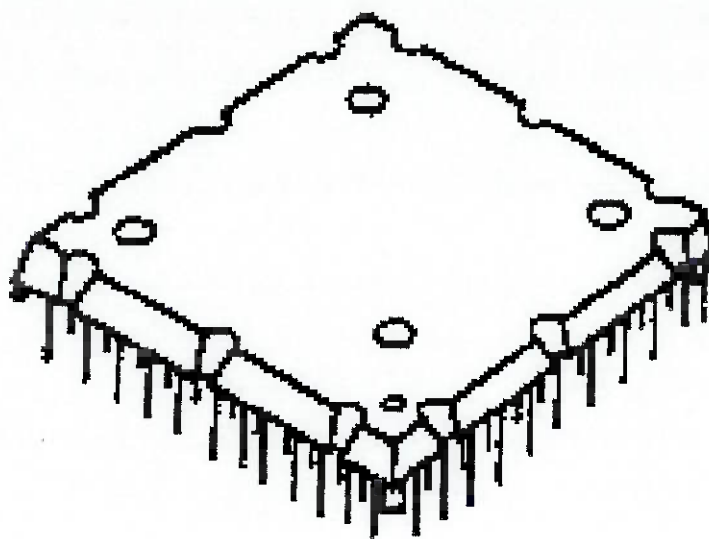
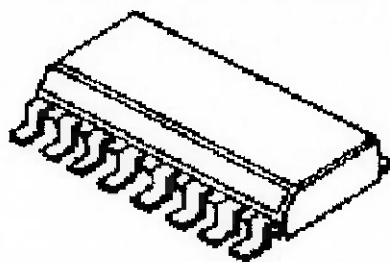
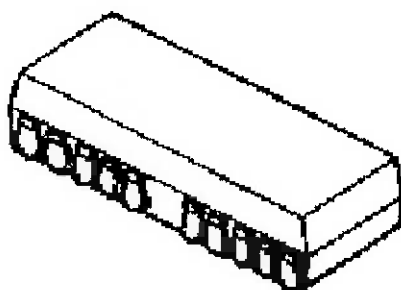


Figura 2.12- Empacotamento “Plastic Pin Grid Array” (PPGA) para montagem em furo passante



(a) Small Outline Package (SOP)



(b) Small Outline J-Lead (SOJ) Package

Figura 2.13- Estilos de empacotamento para montagem superficial (SMD)

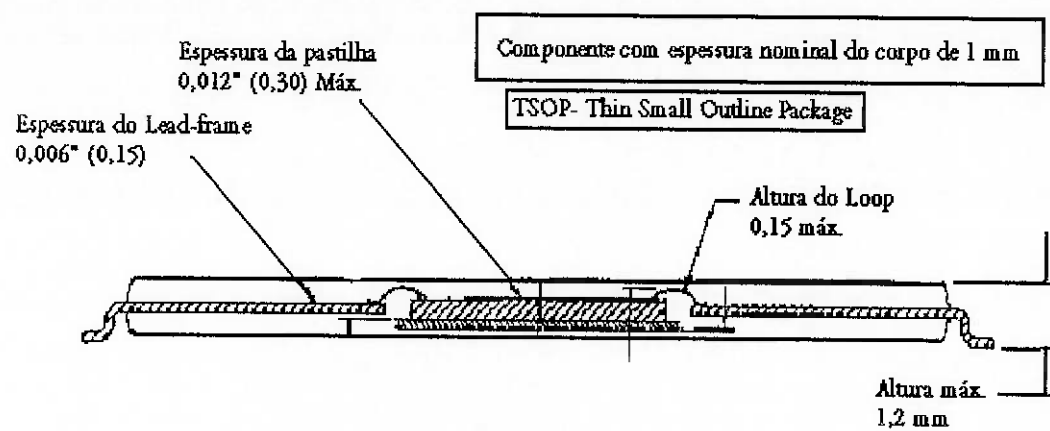


Figura 2.14 Seção interna de um típico empacotamento fino

3.0 - CONSIDERAÇÕES GERAIS A RESPEITO DOS MEPS

3.1 – Vantagens dos MEPS

Os MEPS oferecem muitas vantagens em relação aos herméticos em muitas aplicações e como consequência, são mais utilizados comercialmente. No entanto, os setores militar e aeroespacial ainda relutam em aceitar os MEPS em todas as aplicações de alta confiabilidade. Mas estão começando a usá-los em certas aplicações e em ambientes até aqui considerados impróprios.

Os MEPS possuem as seguintes vantagens:

- **disponibilidade** maior no mercado,
- **custos** menores que os herméticos,
- algumas **características físicas e elétricas** melhores,
- **melhorias contínuas** na confiabilidade.

Discussões sobre cada uma das vantagens são apresentadas a seguir.

3.1.1 – Disponibilidade

A disponibilidade dos MEPS é maior que a dos herméticos. Podem ser produzidos em larga escala, com processamento totalmente automatizado. Podendo ser processadas várias pastilhas agrupadas em quadros enfitados (“lead-frames”), ao mesmo tempo, minimizando os efeitos das variáveis de processo, com isso produzindo melhores resultados.

Além disso, os fabricantes mantêm continuamente suas linhas de produção de componentes em plástico, enquanto que o empacotamento em cerâmico é realizado somente quando há demanda. Conseqüentemente, problemas associados às interrupções e reinício de produção poderão ocorrer.

Inicialmente os projetos de semicondutores incluem somente dispositivos encapsulados em plásticos, a fim de diminuir custos de desenvolvimento. Conseqüentemente, muitos tipos nem sequer chegam a ser produzidos ou disponíveis em encapsulamentos herméticos.

Atualmente é estimado que mais de 98% de todos os microcircuitos produzidos no mundo são encapsulados em plástico. Os restantes, hermeticamente encapsulados, são quase exclusivamente destinados ao mercado militar. Os MEPs oferecem maior diversidade de empacotamento para os projetistas e são vendidos para mais distribuidores que os cerâmicos. Isto gera competitividade entre eles, gerando benefício direto para o comprador. Os tempos de aquisição são mais curtos para os MEPs do que para os cerâmicos.

3.1.2 – Custo

Vários fatores devem ser considerados com relação ao custo. Deve-se incluir a matéria prima, as técnicas de montagem, a complexidade da pastilha, a versatilidade do equipamento de encapsulamento, os resultados e o custo global de montagem.

A tabela 3.1 (Gardner, 1996) apresenta uma análise de custo de um componente microprocessador da Texas Instruments SM320C31HFGM33 (883), com os custos para versão em encapsulamento em cerâmica "Ceramic Quad Flatpack" e para versão em MEP.

Tabela 3.1- Análise comparativa de custo entre um componente hermético e um em versão MEP (Gardner, 1996)

Elemento de custo	Custo do hermético (US\$)	Custo do MEP correspondente (US\$)
Microprocessador	510,25 cada peça Fabricação de 10000 unidades (custo=5,10 M)	78,73 cada peça Fabricação de 10000 unidades (custo=0,79 M)
Engenharia de Computação adicional	0	7140 (não recorrente)
Ensaio de Qualificação	0	3090 (não recorrente)
Ensaio de aceitação adicional	0	0 (assumindo que os ensaios e controle de modificações são adequados)
Inspeção local na fabricação	0	4316
Fabricação adicional	0	10000 para todas as peças
Garantia adicional	0	0
Custo total	5,10 M	0,81 M

Os encapsulamentos em plástico se caracterizam por custo menor de material e requerem poucas etapas de processamento manual, diferentemente dos encapsulamentos cerâmicos. Os MEPs podem ser fabricados em larga escala, empregando processos de moldagem automatizados, conseqüentemente, eles possuem um custo de processamento menor e um menor “overhead” por unidade produzida. Diferentemente, os encapsulamentos cerâmicos requerem uma quantidade maior de etapas de montagem que eleva o “overhead” por unidade. O custo menor de produção com a competitividade existente no mercado, resultam em menores preços unitários.

O tamanho e a complexidade da pastilha são fundamentais na determinação do custo. Para pastilhas de baixa complexidade, o valor é pequeno em relação ao custo total do componente e os MEPs oferecem uma vantagem significativa sobre os

herméticos. Entretanto, deve-se notar que, enquanto a complexidade da pastilha e o número de pinos aumentam, o valor da pastilha torna-se maior em relação ao custo total dos dispositivos e pouca vantagem de custo pode ser observada, obtida ou percebida com os MEPs.

O processamento do MEP para um dado tipo de empacotamento pode ser prontamente adaptado para um tipo diferente. Por exemplo, o empacotamento com plástico para montagem superficial e os DIPs plásticos podem ser fabricados com os mesmos equipamentos, resultando pouca diferença no custo entre os dois empacotamentos. Diferentemente, o empacotamento em cerâmica de montagem superficial requer diferentes equipamentos com relação aos DIPs de cerâmico e são mais caros que os DIPs.

Pelo fato dos MEPs serem produzidos em larga escala, usando técnicas de processamento altamente automatizado, muito trabalho manual é eliminado, havendo menos possibilidade de erro humano. Por causa disso, mais resultados positivos de fabricação são obtidos, traduzindo-se em custos menores.

3.1.3 – Melhores Características Físico-Elétricas

Encapsulamento plástico oferece uma grande vantagem em tamanho e peso sobre os encapsulamentos cerâmicos. Os MEPs são mais finos que os herméticos devido à ausência da cavidade interna. Além disso, são mais leves, geralmente pesando metade do peso dos cerâmicos.

Os plásticos moldados podem ser mais facilmente produzidos em configurações “small-outline”, podendo ser obtida uma densidade maior de empacotamento em placas de circuito impresso, resultando em menor capacitância distribuída no traçado do circuito. Isto melhora o desempenho elétrico em muitas aplicações, reduzindo atrasos de propagação de sinais de componentes.

Plásticos também são superiores as cerâmicas em propriedades dielétricas. Em muitas aplicações de circuito, eles podem atenuar os problemas relativos à tensão

de “breakdown” e/ou mecanismo de falha relacionados à ruptura elétrica relacionada ao encapsulamento.

Os MEPs são mecanicamente mais rígidos que os cerâmicos por causa da sua construção sólida. Eles podem suportar maiores níveis de choque e fadiga sem efeitos para os seus empacotamentos, pastilha e conexões. Além disso, eles não estão sujeitos a soltar partículas de contaminação e provocar curto-circuitos no seu interior. Os MEPs também apresentam CETs próximos das placas de circuito impresso.

3.1.4 – Melhoria na Confiabilidade

A confiabilidade dos MEPs tem aumentado significativamente nos últimos 20 anos de acordo com Pecht et al. (1993). A principal contribuição inclui a melhoria nos materiais de encapsulamento, as técnicas de passivação das pastilhas e os processos de fabricação. Particularmente, os materiais encapsulantes, atualmente, são caracterizados pelo baixo conteúdo iônico de impureza, baixa absorção de umidade, melhores propriedades de adesão, CETs próximos dos materiais do “lead-frame” e alto Tg.

As técnicas de passivação também melhoraram. Os materiais de passivação da pastilha, atualmente, oferecem melhores características de adesão à pastilha, poucos furos ou trincas, baixa impureza iônica, baixa absorção de vapor d’água e propriedades térmicas próximas do substrato.

Durante esse período, componentes herméticos também apresentaram uma melhoria significativa na sua confiabilidade. No entanto, a motivação maior continua na melhoria da confiabilidade global dos plásticos, devido à crescente demanda de mercado. Por outro lado, o emprego de componentes herméticos continua a diminuir e há uma tendência de falta de incentivo para melhoria de processo de fabricação pelos fornecedores.

3.2 – Desvantagens dos MEPs

3.2.1 – Características de não hermeticidade

Os usuários dos MEPs em aplicações de alta confiabilidade estão mais preocupados com a absorção de umidade com o decorrer do tempo. Os MEPs são susceptíveis a esse mecanismo, pois, não possuem a hermeticidade adequada. Apesar de ter alcançado grandes melhorias nos materiais de encapsulamento, na técnica de passivação da pastilha, nas técnicas de processamento, os MEPs são ainda mais vulneráveis à umidade do que os componentes herméticos.

Cuidado deve ser tomado para minimizar a absorção d'água durante a produção e evitar exposição prolongada à umidade. É comprovado cientificamente que os MEPs absorvem a umidade do ambiente. No seu devido tempo, a umidade atingirá a pastilha e em combinação com os traços de contaminantes iônicos produzirão dano devido à corrosão.

3.2.2 – Características térmicas inferiores

Os MEPs têm resistência térmica mais elevada que os encapsulamentos cerâmicos. O encapsulamento plástico é menos condutivo termicamente do que os cerâmicos e uma dissipação térmica adequada pode se tornar um problema, particularmente em dispositivos de alta potência.

Os MEPs têm faixas de temperatura de operação e de armazenagem mais restritivas. Isto é devido, principalmente, ao fato que os encapsulantes plásticos podem criar tensões, originadas pelas expansões térmicas na pastilha, por causa da diferença nos CETs do plástico, do "lead-frame" e da própria pastilha de silício.

3.2.3– Requisitos para controles de armazenagem, manuseio e montagem

Os MEPs devem ser protegidos adequadamente durante a embalagem, o manuseio e a armazenagem. Preocupações adicionais tornam-se necessárias, devido ao fato dos MEPs absorverem umidade e/ou contaminantes. Eles devem ser embalados em containers especiais, constituindo-se numa barreira contra umidade.

Após o seu recebimento, a responsabilidade passa a ser do usuário em minimizar a absorção de umidade. Dependendo das circunstâncias e das condições ambientais, poderá ser necessário realizar um baixo ou alto cozimento (“baking”), envolvendo aquecimento nos componentes montados nas PCIs, a fim de remover qualquer umidade que possa ter sido absorvida pelos MEPs.

A duração e as temperaturas de soldagem durante a montagem devem ser controladas para assegurar que o calor excessivo não danifique o próprio corpo do componente. Isto é necessário porque, se o plástico absorve muita umidade durante os estágios de armazenagem ou manuseio, trincas poderão ocorrer sob exposição do calor da soldagem. É, também, importante minimizar a exposição aos solventes de limpeza durante a montagem, pois, estes trazem contaminantes que são absorvidos pelos MEPs.

3.2.4 – Documentação do controle de processo e aceitação de lote

Existe muito pouca documentação relacionada ao controle de processo e ao procedimento de aceitação de lotes, reconhecidamente aceitos pela comunidade de usuários de aplicação de alta confiabilidade. Deste modo, torna-se difícil avaliar a confiabilidade de diferentes tipos de componentes encapsulados em plástico e obter comparações entre os fabricantes.

Existe pouca experiência com o emprego de MEPs em aplicações espaciais. Como resultado, existem poucos dados relevantes sobre a sua confiabilidade e utilização.

4.0 – CONSIDERAÇÕES SOBRE CONFIABILIDADE

Os MEPs são susceptíveis a diferentes tipos de defeitos que levam a falhas prematuras. A Figura 4.1 (A) apresenta os defeitos que ocorrem durante a fabricação dos MEPs, em percentagem de ocorrência, enquanto que a Figura 4.1 (B) apresenta alguns exemplos de defeitos em MEPs e de falhas relacionadas.

Esses defeitos podem aparecer em vários locais. Eles podem ser resultados de uma variedade de modos e de mecanismos de falhas que podem manifestar em vários locais dentro do componente. Esses defeitos podem ser resultados de materiais inadequados, de projetos ou processos de fabricação deficientes.

Os MEPs podem também falhar devido a mecanismos que não estão relacionados a defeitos. Por exemplo, os empacotamentos plásticos absorvem umidade do meio ambiente e esta produz vários problemas. Incluídos nesta categoria estão certos mecanismos de falha do tipo desgaste.

Cada um desses tópicos será tratado em detalhes. Há vários meios de se evitar os defeitos e uma vez caracterizados, melhorias poderão ser incorporadas, resultando em projetos robustos, conferindo qualidade e confiabilidade ao produto final.

4.1 – Defeitos e prevenção nos MEPs

Nesta seção são tratados defeitos que ocorrem durante o processo de fabricação. Alguns defeitos são normalmente classificados como termo-mecânicos por natureza. Outros são freqüentemente relacionados a processos específicos, tais como:

- a fabricação da pastilha,
- a fixação da pastilha,
- o encapsulamento do dispositivo,
- a passivação da pastilha,

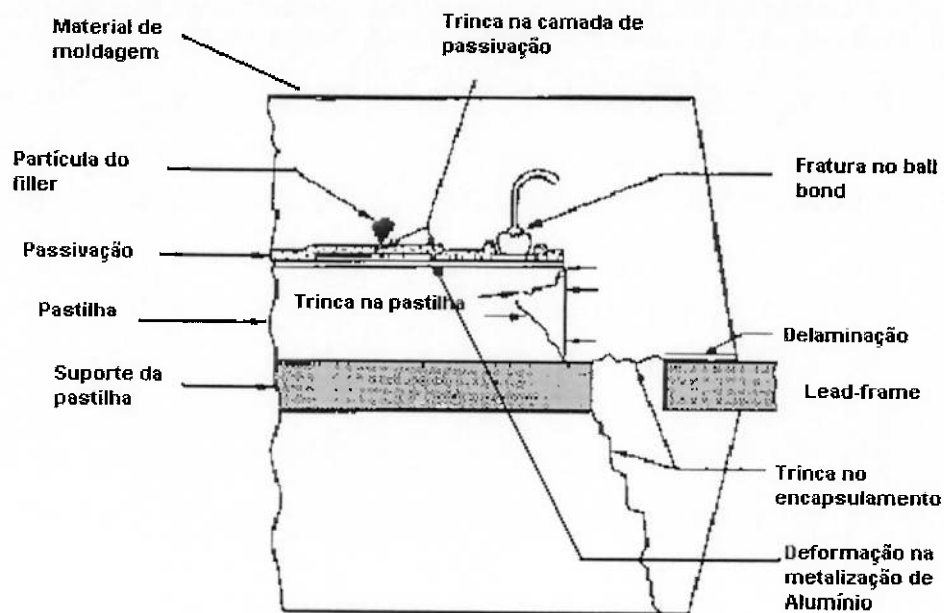
- a fabricação do “lead-frame” e o suporte da pastilha,
- o “wire-bonding” ou finalização do empacotamento.

Como pode ser visto nas seções seguintes há muita superposição nessas categorias de defeitos.



(A)

Figura 4.1 A) Defeitos que ocorrem na fabricação dos MEPs (NSWC, 2003)



(B)

Figura 4.1 B) Exemplos de defeitos em MEPs e falhas relacionadas

Fonte: Baluck et al., 1995

4.1.1 – Defeitos termomecânicos

Certos defeitos podem ser resultados de falhas que são caracterizadas pelo calor e pelo movimento dos materiais. Estes, freqüentemente, são resultados de diferenças nos CETs entre os materiais de moldagem em epóxi e os vários materiais de interface. Por exemplo, enquanto o material de moldagem em epóxi cura, são geradas tensões térmicas, provenientes do encolhimento. Essas tensões podem gerar grandes tensões de cisalhamento, impostas à pastilha. Essas tensões de cisalhamento, especialmente nos cantos da pastilha, tornam-se muito intensas em amplitude, nesses locais. Estes podem causar trincas na camada de passivação da pastilha de filme fino, no material de ligação ou na própria pastilha. Essas tensões podem também causar delaminações entre os materiais de moldagem em epóxi e a pastilha ou no suporte da pastilha / “lead-frame”. Trincas e delaminações podem produzir interrupções de circuito (circuitos abertos), curto-circuitos ou mesmo intermitência. Podem, também, gerar caminhos através do qual a umidade e a contaminação podem penetrar facilmente no empacotamento.

Estes tipos de defeitos podem ser evitados implementando as seguintes medidas:

- Ao selecionar os materiais a serem usados no encapsulamento, no “lead-frame”, na fixação da pastilha, na passivação da pastilha etc., é muito importante que os CETs desses materiais sejam tão próximos, quanto possível.
- A espessura do material de moldagem, acima e abaixo da superfície da pastilha, deve ser controlada de tal modo a terem a mesma medida.
- Cuidados devem ser tomados, sempre que possível, no “layout” e no projeto para se evitar bordas e cantos salientes.
- Finalmente, materiais de fixação da pastilha de baixa tensão devem ser usados para se evitar tensões excessivas se desenvolverem dentro do empacotamento.

4.1.2 – Defeitos na pastilha

Os defeitos na pastilha incluem todos aqueles normalmente relacionados à fabricação da bolacha semicondutora, mais aqueles específicos dos MEPs, tais como deformação da metalização e trinca da passivação sob fadiga. Nem todos os defeitos são referidos aqui. A exposição a seguir, está limitada apenas àqueles defeitos que influenciam ou tenham uma particular consequência na construção do MEP, ou que possam produzir mecanismos de falha exclusivos nos MEPs.

4.1.3 – Defeitos na fixação ou colagem da pastilha

Os mesmos defeitos que ocorrem nos empacotamentos herméticos podem ocorrer com os MEPs. São os seguintes:

- fraca adesão da pastilha no seu suporte,
- vazios no material de fixação,
- filete inadequado.

Estes defeitos são geralmente atribuídos aos controles de processos inadequados (por exemplo, preparação imprópria do material, cura, etc.). Eles podem causar distribuição de calor não uniforme (em partes quentes localizadas), separação ou fratura da pastilha. Falhas catastróficas devido a uma sobre-tensão térmica ou interrupções de circuito interno (circuitos internos abertos podem ocorrer).

Além disso, os vazios podem se tornar depósitos para umidade e contaminantes.

Existem também problemas no material de fixação que são específicos para os MEPs. Se os CETs dos materiais da pastilha, do seu suporte e do encapsulante não forem bem próximos, tensões excessivas poderão ser impostas a pastilha durante a operação de moldagem. Além disso, muitos materiais polímeros de fixação da pastilha absorvem consideráveis quantidades de umidade sob condições extra de umidade e podem contribuir para o aparecimento de trinca no empacotamento. (ver Item 4.2.2)

4.1.4 – Defeitos no Encapsulamento

Os defeitos mais comuns no encapsulamento são os vazios, a delaminação *, o deslocamento do suporte da pastilha e o “wire-sweep”. Além disso, o próprio material de moldagem pode conter impurezas e contaminantes. Os principais problemas são as impurezas e/ou contaminantes que podem combinar com a umidade e formar compostos corrosivos.

Os vazios são defeitos também importantes na fabricação do MEP. Os vazios podem ser causados por vários fatores. Falta de uma pressão adequada nos moldes ou o congelamento (endurecimento) prematuro do material composto nos “gates” (antes de fluir nas cavidades do encapsulante). Eles podem produzir um preenchimento incompleto da cavidade (chamado “short shot” *) ou pequenos vazios distribuídos em todo o material de moldagem.

Os vazios podem, também, ser resultados de ar aprisionado no material de moldagem, enquanto ele flui para o molde. Isto pode ocorrer se o molde não for

adequadamente ventilado durante o processo de moldagem ou se o ar excessivo permanece no pote de transferência, enquanto o pistão do sacador é acionado para injetar o material de moldagem inteiramente no molde.

Os vazios fornecem locais para acúmulo de umidade e contaminantes. Eles podem também degradar propriedades térmicas, elétricas e mecânicas do encapsulamento. Os vazios localizados próximos à pastilha e as ligações tipo bola são os mais preocupantes. Esses vazios podem afetar a dissipação ou a remoção do calor. Pontos quentes localizados, podem ocorrer e estes podem degradar o desempenho elétrico ou no pior caso, levar a uma falha catastrófica devido à sobre-tensão térmica. Vazios próximos aos “bond-pads”, possibilitam que a umidade alcance estas regiões, onde o alumínio não protegido é vulnerável a corrosão. Uma quantidade de pequenos vazios dispersos em todo o material de moldagem, aumenta a porosidade e torna o encapsulamento mais susceptível a falhas devido à absorção de umidade.

Os vazios tornam-se mais preocupantes, sob o ponto de vista da confiabilidade, enquanto os encapsulamentos dos MEPs tornam-se menores e mais finos. Na medida que o encapsulamento diminui, a relação do volume da pastilha moldada para o volume da pastilha, também diminui e ocorrendo os vazios, a probabilidade de que estes estarão próximos de áreas críticas aumenta, e como resultado, a probabilidade de ocorrência de falhas será também maior.

A delaminação nas interfaces é um outro problema sério que acontece nos MEPs. A delaminação pode ser causada por contaminação na superfície do “lead-frame” ou por oxidação da superfície do “lead-frame” causadas pela temperatura de fixação (“bonding”). Pode, também, ser resultado do alívio de tensão insuficiente do “lead-frame” ou de quantidades excessivas de lubrificantes, i.e., agente de liberação do molde usado nos materiais de resina epóxi de moldagem.

A delaminação é a causa principal de penetração de umidade e subsequente falha precoce do empacotamento. Geralmente, os locais onde ocorrem delaminação

estão ao longo dos terminais onde eles atravessam a borda da pastilha para a borda do empacotamento moldado e ao longo da superfície da pastilha. A delaminação na pastilha é de interesse especial, porque também causa concentração de tensões significantes nas bordas da pastilha e porque também, pode causar dano às partes da pastilha e às ligações, enquanto o material de moldagem move-se fora do contato com essas partes.

A delaminação pode contribuir para uma variedade de mecanismos e modos de falha, incluindo trincas no encapsulamento, corrosão, deformação da metalização, ligações com fios levantados e fios de conexão quebrados, e estes podem ainda interromper circuitos (circuitos abertos), curto-circuitos ou defeitos intermitentes.

Superfície limpa é um requisito importante para uma boa adesão. No entanto, é importante evitar a penetração de contaminantes durante o processamento. Além disso, altas temperaturas de fixação (colagem) devem ser evitadas e proteção como mantas de gás inerte devem ser usados durante essas operações para se evitar a oxidação do “lead-frame”. Aditivos usados para promover adesão no material de moldagem em resina epóxi são úteis. Características especiais de projeto podem ser incorporadas na construção dos “lead-frames” para aumentar a adesão do material de moldagem em epóxi.

4.1.5 – Defeitos na passivação

Os defeitos comuns na passivação, tais como quebras, trincas, porosidade e adesão fraca, aumentam a vulnerabilidade dos encapsulamentos plásticos a falhas. A trinca ocorre quando as tensões impostas pelo encolhimento do material de moldagem excedem a tensão do material usada na passivação. A passivação sobre metalização de dupla camada é mais susceptíveis a ocorrências de trincas, porque as elevações maiores associadas com estas geometrias, produzem maiores tensões de encolhimento.

As trincas na camada de passivação podem produzir circuitos abertos, intermitências ou altas correntes de fuga (“leakage”). Podem, muitas vezes, estar associadas com levantamento e cisalhamento dos “ball-bonds” * por causa da

proximidade das colagens, com o dano na camada de passivação nas bordas da pastilha, onde as tensões de cisalhamento se concentram.

O uso de materiais de moldagem em epóxi de baixa tensão e/ou a aplicação de uma camada de passivação na pastilha, ajuda a reduzir a intensidade das forças que são impostas sobre a camada de passivação. Também, no “layout” do projeto da pastilha deve-se ter em mente que os cantos e as bordas da pastilha são áreas de alta concentração de tensões, portanto, circuitos ativos devem ser evitados nessas áreas.

4.1.6 – Defeitos no “lead-frame” e no suporte da pastilha

Defeitos no “lead-frame” e no suporte da pastilha incluem o “overetching” *, defeitos de estampagem, rebarbas, terminais desalinhados na metalização da superfície.

4.1.7 – Defeitos nos fios de conexão e nos “wire-bondings”

Os defeitos nos fios de conexão e nos “wire-bondings”, de interesse para os MEPs são essencialmente os mesmos que podem ocorrer com os herméticos. Ligações fracas são resultados de contaminação sobre os “bond-pads” ou de processamentos inadequados. Levantamentos, cisalhamentos e fraturas do “wire-bonding” e do “ball-bond” (Figura 4.2) podem ser resultado de tensões impostas ao MEP. Esses mecanismos de falha na colagem são freqüentes em MEPs, induzidos pelo fluxo gerado enquanto o material de moldagem flui sobre a pastilha durante o processo de encapsulamento. Deve-se notar que as tensões de encolhimento da moldagem e as residuais de pós moldagem, podem também produzir falhas de ligação produzindo circuitos abertos.

É importante ter um controle de processo adequado para assegurar a obtenção de “wire-bondings” com alta tensão de fixação. É também importante, controlar adequadamente a temperatura, a viscosidade e a taxa de fluxo do material de moldagem dentro do molde e usar materiais de baixa tensão. Os locais de conexão devem ser elaborados, de modo a se evitar regiões de alta concentração de tensão.

Um problema freqüente com os fios de conexão é o efeito chamado “wire-sweep” *. O “wire-sweep” se refere ao movimento permanente ou ao deslocamento dos fios (na direção do fluxo) devido à mesma tensão induzida pelo fluxo mencionado anteriormente. Controles adequados do processamento do molde devem ser implementados a fim de minimizar esses esforços, pois, de outro modo, os fios adjacentes poderão entrar em contato com outros fios ou serem até mesmo cisalhados. O risco do “wire-sweep” pode ser bastante minimizado se forem evitados fios excessivamente longos com grandes “loops” durante o processo de instalação dos “wire-bondings”.

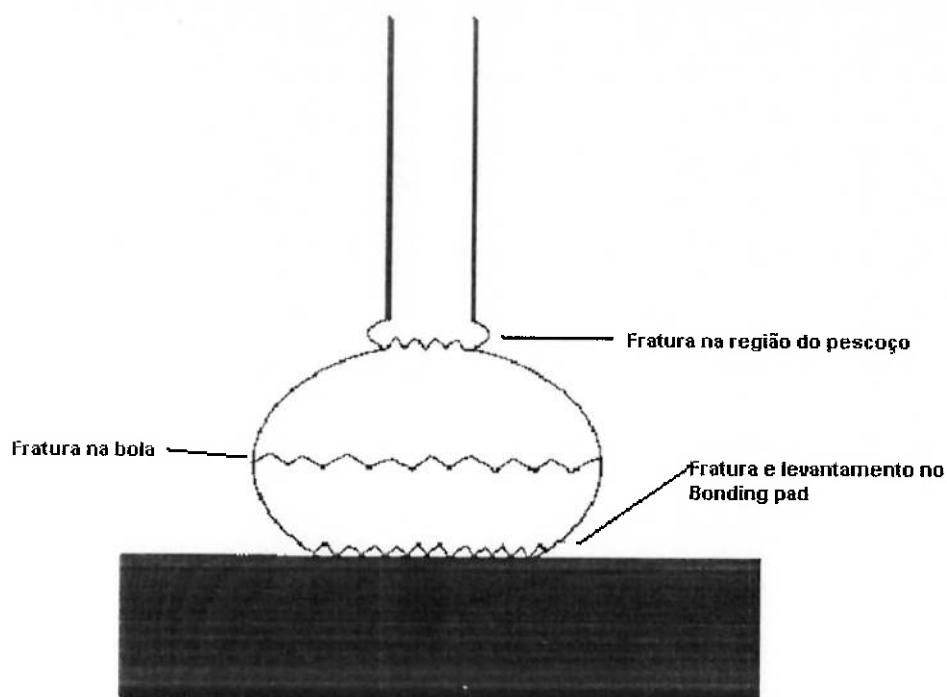


Figura 4.2- Tipos de defeitos no “ball-bond” *

Fonte: Baluck et al., 1995

4.1.8 – Defeitos no empacotamento acabado

Após o término da cura do material do encapsulamento, pode ocorrer ainda, uma quantidade de defeitos que devem ser levados em consideração. Os defeitos mais comuns são apresentados a seguir.

Materiais ou processos inadequados podem produzir um esmaecimento da tinta usada para impressão; também estas impressões podem por outro lado, obscurecerem ou mesmo se apagarem. Isto pode levar a perda de rastreabilidade, da identificação do fabricante, do componente, do “date code” etc.

Outro item preocupante é a degasagem do material de empacotamento do MEP quando estes são usados em ambientes espaciais. Os materiais encapsulantes de plásticos de alta degasagem podem produzir condensação de materiais voláteis sobre superfícies sensíveis. Como exemplo, camadas de materiais voláteis podem ser depositadas em superfícies óticas de instrumentos científicos (tais como, espelhos e lentes) quando os MEPs são expostos a ambientes de alto vácuo. Isto pode resultar na degradação do desempenho do equipamento. A maioria dos plásticos empregados atualmente tem baixa degasagem.

Entretanto é importante confirmar com os fabricantes se o material atende os requisitos de degasagem para “Total Mass Loss” (TML) menor que 1% e “Collected Volatile Condensable Material” (CVCM) menor que 0,10%, quando ensaiado segundo a norma ASTM-E-595 (ASTM, 1999).

4.2 – Mecanismos e modos de falhas não relacionados a defeitos de fabricação

Nem todas as falhas dos MEPs estão relacionadas a defeitos. Os defeitos somados a um projeto inadequado, agindo em conjunto com outros fatores podem contribuir ou até mesmo aumentar um processo natural de degradação, tal como uma corrosão. A seguir são apresentadas algumas falhas que ocorrem durante a vida dos MEPs e que não estão relacionadas a defeito de fabricação.

4.2.1 – Corrosão

Todos os empacotamentos dos MEPs absorvem umidade da atmosfera. Se muita umidade é absorvida, pode-se tornar um grande problema. A corrosão da metalização da pastilha pode acontecer se a umidade levar consigo contaminantes iônicos. A corrosão da metalização * inicia-se nos “bond-pads” que são deixados expostos com intuito de permitir o “wire-bonding”. Os próprios “wire-bondings” de

conexão, são também susceptíveis de corrosão na presença da umidade e de contaminantes.

Os contaminantes iônicos se hidrolisam e podem reagir com alumínio na fase intermetálica de ouro/alumínio das ligações.

Os modos de falha de corrosão no “wire-bonding” e na metalização da pastilha, incluem desvios nos parâmetros elétricos, correntes de fuga excessivas, curtos circuitos e circuitos abertos. A corrosão de uma ligação pode produzir um aumento na resistência de contato que pode levar à perda do componente.

Os materiais de moldagem devem possuir as seguintes características :

- menos de 10 ppm de contaminação iônica;
- formulação com retardante a chama;
- aditivo para eliminação do bromo;
- incorporação de eliminadores ou catadores iônicos;
- aumento da adesão do encapsulante no “lead-frame”;
- retardo da penetração de umidade.

Outros procedimentos devem ser realizados, p. ex., a selagem dos “bond-pads” com coberturas resistentes a umidade, p.ex. silicones (realizada após “wire-bonding” e antes do encapsulamento) e limite ou controle de fontes de fósforo durante o processamento do “wafer”.

Os “lead-frames” são também susceptíveis a corrosão ou a tensões por mecanismo de trinca por corrosão. Quaisquer depressões, trincas ou vazios na metalização do “lead-frame” podem produzir corrosão no metal base na presença de umidade e de contaminantes. Trincas podem ocorrer também durante processamento final quando os terminais são pré-formados. A área mais sensível para corrosão do “lead-frame” está na interface entre o material de moldagem e o “lead-frame”.

Esses mecanismos podem ser evitados através de uma preparação superficial apropriada, antes da metalização, de controles de processo satisfatórios e operações de limpeza e enxague adequados durante a metalização. Além disso, o aumento da adesão entre o “lead-frame” e o material de moldagem é importante, pois oferece um obstáculo aos contaminantes e ajuda a prevenir corrosão das superfícies internas do “lead-frame”.

4.2.2 – Efeito “popcorning”

A umidade absorvida pode produzir sérios problemas quando os MEPs são soldados nas PCIs. O calor do processo de soldagem pode produzir mecanismos conhecidos como “popcorning”. Popcorning é um termo usado para descrever trincas no empacotamento, que podem surgir durante a soldagem dos componentes na PCI, quando o material de moldagem absorve muita umidade. Esse fenômeno geralmente ocorre quando o empacotamento do dispositivo é exposto à alta temperatura ou a um rápido aumento de temperatura, durante por exemplo, a soldagem por refusão de componentes de montagem superficial. Pode também acontecer com outros tipos de soldagem. Assim que o calor é aplicado, qualquer umidade no interior do empacotamento vaporiza e expande. Isto cria uma pressão interna que produz delaminação entre os materiais de moldagem e o “lead-frame” e subsequente empenamento do empacotamento. Se a quantidade de umidade interna, a duração e a temperatura de soldagem forem suficientes, as trincas ocorrerão no empacotamento (frequentemente acompanhado de ruídos semelhantes a pipoca estourando). Trincas podem ocorrer durante o processo de expansão ou após resfriamento e encolhimento, retornando às suas dimensões originais (Figuras 4.3 e 4.4).

No documento da ANSI/IPC,1990 são apontados os seguintes fatores que aumentam o risco de quebra por efeito “popcorning” do empacotamento do MEP:

1. O conteúdo interno de umidade maior que 0,11% em peso
2. Temperaturas de soldagem acima de 220°C
3. Taxas de variação de temperatura, durante soldagem, maior que 10°C/seg.

O retrabalho de remoção de componentes defeituosos em PCIs pode agravar este problema, sujeitando os componentes vizinhos a tensões térmicas ou termo-mecânicas, podendo ocorrer a expansão de trincas internas já iniciadas. Essas tensões podem também, produzir interrupções de circuito (circuitos abertos), aumentar a resistência de contatos e causar rompimentos nos fios.

4.2.3 – Cratera no “bond-pad”

Outro mecanismo de falha que pode ser produzido nos componentes de montagem superficial quando o calor é aplicado na presença de muita umidade é a formação de crateras sob os “bond-pad”. Este mecanismo pode ocorrer em situações onde os nódulos de silício têm se precipitado fora da metalização da pastilha de alumínio dopado com silício, durante o processamento do “wafer”. Agindo em conjunto com as forças de ligação dos “ball-bonds” (p. ex. forças de vibração associadas com ligação termo-sônica), esses nódulos de silício podem causar um dano inicial à camada isolante (p. ex. campo do óxido) sob a metalização de alumínio. Quando o calor da soldagem é aplicado ao empacotamento, como já mencionado, a umidade absorvida se vaporiza. Grandes tensões poderão ser impostas às ligações dos “ball-bonds” pela pressão de vapor e pela força de expansão térmica do material de moldagem. Como consequência, o dano na camada isolante aumenta, e o mecanismo chamado cratera acontece. Este mecanismo pode se estender no substrato de silício (Figura 4.5). A ligação do “ball-bond” pode se desprender do “pad”, provocando uma interrupção no circuito.

A trinca no empacotamento devido ao “popcorning” e o efeito cratera, podem ser evitados, através da seleção do material de moldagem, projetado para fornecer uma forte barreira ao ingresso de umidade, com uma excelente adesão.

Outras técnicas podem, também, ser empregadas. Por exemplo:

- modificando o projeto do “lead-frame” (desbastando a superfície) para aumentar a ancoragem/adesão do material de moldagem,

- usando materiais de fixação da pastilha com baixo conteúdo de umidade,
- controlando as dimensões do suporte da pastilha,
- controlando a espessura do material de moldagem, acima e abaixo do suporte,
- evitando rebarbas no suporte e pontos nas pastilhas
- controlando a temperatura máxima de soldagem e a taxa de variação da temperatura, durante a soldagem e o retrabalho,
- embalando os componentes junto com dessecantes e
- submetendo os componentes ao processo de “baking-out” ou “bake” * antes da soldagem, a fim de remover a umidade interna.

4.2.4 – Trincas na pastilha

As trincas podem ocorrer durante o processo “scribbling/dicing” * e podem ser resultados de tensões térmicas devido a descasamento dos CETs entre os vários materiais dentro do empacotamento. Vazios no material de fixação da pastilha ou forças mecânicas excessivas aplicadas durante o procedimento de fixação da pastilha podem também causar fratura na pastilha. As falhas podem ser manifestadas como circuitos abertos, curtos circuitos ou correntes excessivas de fuga.

As trincas ou as quebras na pastilha podem ser evitadas com o uso de materiais de moldagem de baixa tensão, com a escolha de materiais com CETs similares, minimizando a espessura do material de fixação da pastilha e eliminando vazios no material de fixação da pastilha e, ainda mantendo uma adequada e uniforme espessura de material de moldagem em torno da pastilha e do seu suporte.

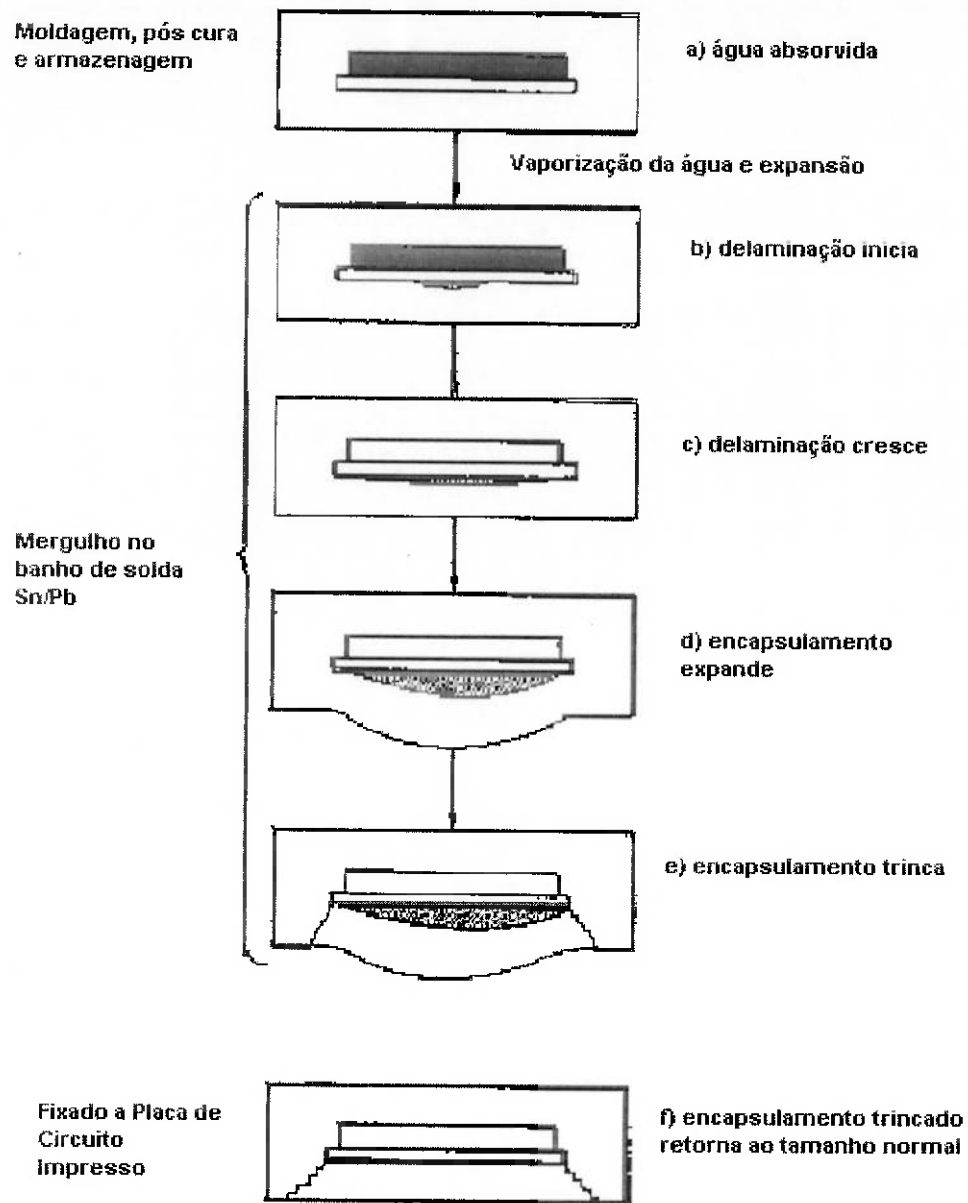


Figura 4.3- Ilustração mostrando como a trinca do tipo
 "popcorn" aparece no encapsulamento do MEP
 (Baluck et al., 1995)

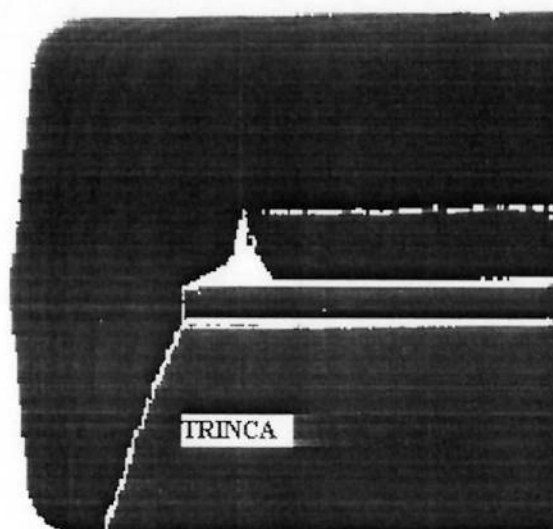


Figura 4.4- Vista de corte de um MEP mostrando a trinca “popcorn” no encapsulamento (Baluck et al., 1995)

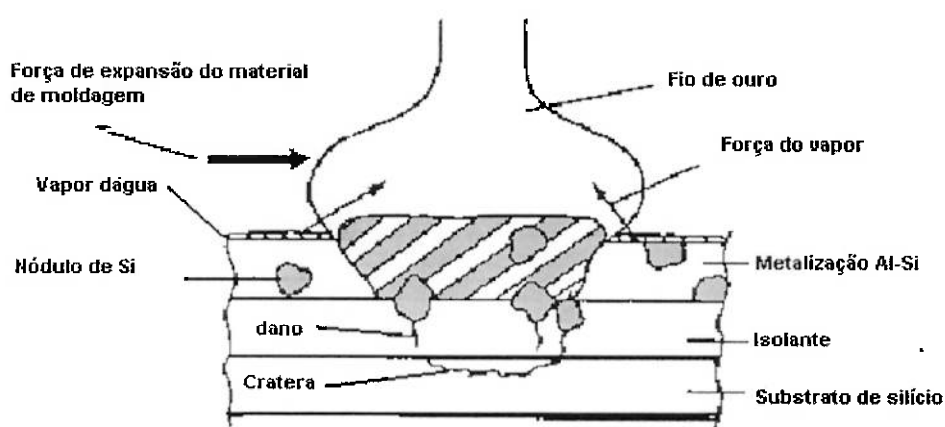


Figura 4.5- Vista de corte mostrando a cratera sob o “bond-pad” (Baluck et al., 1995)

4.2.5 – Deformação na metalização

A metalização de alumínio sobre a pastilha pode ser deformada por tensões de encolhimento térmico imposto pelo material de moldagem. Durante o encolhimento, tensões de cisalhamento ocorrem e estas são intensas nas bordas da pastilha. Conseqüentemente, será o local onde mais provavelmente a deformação da metalização irá ocorrer. Adesão pobre entre o encapsulante e a superfície da pastilha,

possibilita o movimento do encapsulante em relação à superfície da pastilha e aumenta o risco da deformação da metalização.

Vários fatores podem contribuir para altos níveis de tensão de cisalhamento. Geralmente, altas tensões aparecem quando há grandes espaços livres do suporte em torno da pastilha. Orientação e relação de aspectos da pastilha, i.e. relação entre seu comprimento e sua largura, são dois fatores que afetam as tensões na borda da pastilha. Por exemplo, considere o caso onde uma pastilha retangular é usada num empacotamento retangular. Se a pastilha fosse orientada de modo que seu lado maior fosse paralelo ao lado maior do empacotamento, seriam produzidas tensões mais elevadas. Tensões menores seriam produzidas se a pastilha fosse orientada com o seu lado maior perpendicular ao lado maior do empacotamento. Da mesma forma espessuras não uniformes do material de moldagem também produzirão tensões elevadas na pastilha.

As condições indesejáveis de tensão são eliminadas, empregando-se dimensões do suporte da pastilha o mais próximo possível das dimensões da pastilha. Outros fatores que também contribuem para eliminar tensões são a orientação adequada da pastilha com relação ao empacotamento e a constância da simetria na espessura do material de moldagem em torno da pastilha. Uma cobertura do tipo glóbulo, feito de material resiliente de silicone aplicado sobre a superfície da pastilha, serve como um anteparo e absorve a tensão térmica de encolhimento, daí protegendo a superfície da pastilha, do mesmo modo que a metalização de alumínio.

4.3 – Mecanismos e modos de falha provocados por fadiga

O descasamento térmico dos materiais submetidos a várias ciclagens térmicas produz tensões cíclicas aplicadas ao empacotamento, podendo no final levar à fadiga e/ou a quebra com trincas do encapsulamento, facilitando a penetração de umidade e/ou de contaminação. Qualquer dos mecanismos e modos de falha relacionados à umidade, visto anteriormente, pode ocorrer. O usuário do MEP deve familiarizar-se com os limites térmicos do encapsulante plástico e assegurar que a aplicação pretendida de tensão térmica não excederá a vida útil esperada do encapsulamento.

Os MEPs estão, também, sujeitos à formação intermetálica prejudicial de ouro-alumínio, (AuAl_2), nos locais dos “wire-bonds”. A maioria dos empacotamentos herméticos empregam os mono metais ou seja, fios de alumínio com “pad” em alumínio, soldados com ultra-som, para se prevenir do referido problema. Entretanto, nos MEPs, os fios de ouro são termo-sonicamente fixados ao “pad” metalizado em alumínio, por ser este processo mais facilmente adaptável a vários “layouts” de “bond pad” e seu “throughput” é maior (atinge-se os resultados favoráveis mais rapidamente). Por tanto, o usuário do MEP deve estar consciente deste problema em potencial, de natureza intermetálica.

As formações intermetálicas em excesso podem produzir os vazios de Kirkendall, “Kirkendall voidings” * e falhas prematuras de fixação. Os fabricantes devem, cuidadosamente controlar o processamento para evitar impurezas e temperaturas excessivas. Se houver formações intermetálicas em excesso, durante o processo de fabricação, as exposições prolongadas em temperaturas elevadas (p.ex. “burn-in” *) agravarão o problema.

4.4 – Obtenção da Qualidade e da Confiabilidade

Desde o surgimento dos MEPs os usuários têm exigido cada vez mais, melhorias na qualidade e na confiabilidade. Os fabricantes têm dado mais ênfase na melhoria da qualidade e da confiabilidade de seus produtos, em vez de implementar o “screening” nos MEPs, que além de ter um custo elevado, ainda pode introduzir defeitos e ser menos efetivo.

Este item apresenta considerações sobre a obtenção da qualidade e a da confiabilidade, implementadas através de melhoria nos materiais, no projeto, no controle rígido e no continuado desenvolvimento tecnológico do processo. O uso do controle estatístico de processo (CEP) para medir e controlar processos e qualidade dos dispositivos é imprescindível.

4.4.1 – Materiais e processos

A qualidade e a confiabilidade podem ser obtidas através de uma seleção adequada de materiais e de um bom projeto de fabricação. O material de moldagem deve ser selecionado, de modo a fornecer uma alta estabilidade em temperatura, alta condutividade térmica, ter um baixo CET (que deve também ser similar àqueles dos materiais de interfaces). Ter ainda, alta pureza, baixas tensões termomecânicas e alta resistência a delaminação, quebras e trincas. Deve-se dar a devida atenção ao projeto das interfaces entre o material de moldagem e o “lead-frame”, de modo a maximizar a adesão ao material de moldagem. No Anexo A são apresentados as propriedades e os ensaios dos materiais de encapsulamentos.

Exemplos de melhorias em projetos incluem o uso de furos e tiras de travamento no “lead-frame” conforme mostrado na Figura 4.6, cuja finalidade é aumentar a ancoragem entre o material de moldagem e os terminais. Modificações, p.ex., introdução de covinhas na superfície inferior da pastilha, têm sido implementado para intensificar mecanicamente ou “travar” a adesão do material composto. A geometria do “layout” do empacotamento (tamanho da base da pastilha, espessura do plástico e a distância da borda da pastilha até o “lead-frame”) deve ser otimizada, com ênfase na diminuição de áreas de alta tensão.

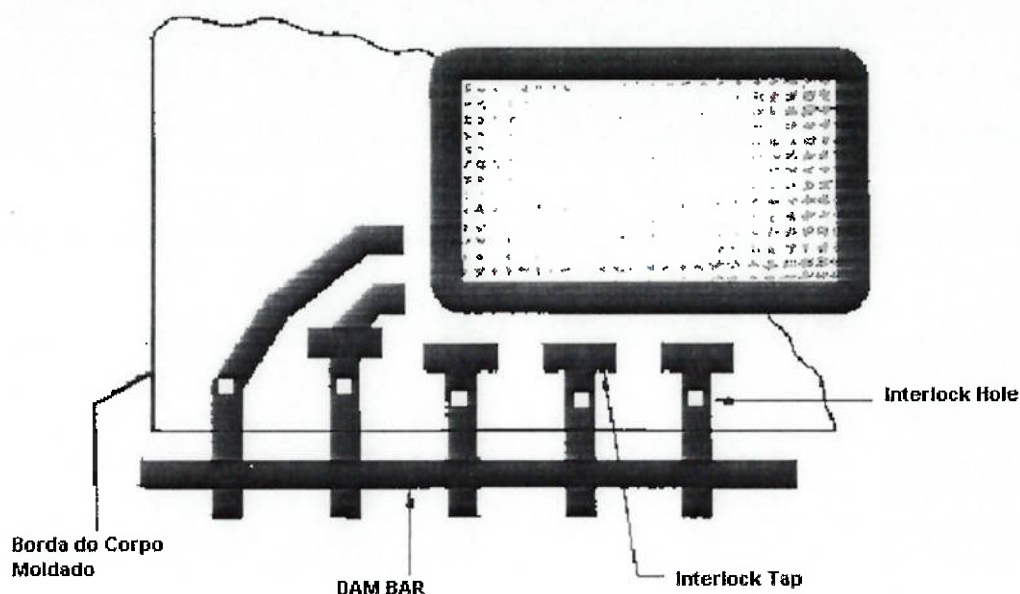


Figura 4.6- Exemplo de melhoria de projeto. Fonte: Baluck et al., 1995

NOTA: aplicação de furos “interlock hole” para travamento e lingüetas “interlock tap” para melhorar a adesão entre o material de moldagem e as tiras do “lead-frame”.

4.4.2 – Controle e caracterização dos processos

Existem muitas variáveis relacionadas no controle de processo de fabricação dos MEPs. A temperatura máxima em vários locais no molde, a taxa de aquecimento desses locais, a taxa de polimerização e a densidade de vazios permitida, devem ser otimizadas para se assegurar um processo de altíssima confiabilidade. Além disso, o perfil da taxa de tempo/temperatura/fluxo do encapsulante fundido é crítico, enquanto viaja pelo dispositivo de moldagem, a fim de assegurar um adequado preenchimento uniforme de todas as cavidades do empacotamento e prevenir danos devido a excessivas tensões induzidas pelo fluxo.

Os MEPs são processados em grupos em grandes lotes e, portanto, é importante caracterizar totalmente o processo, antes da produção propriamente dita, a fim de garantir bons resultados e produtos de alta confiabilidade. Devem-se fazer várias tentativas, a fim de se avaliar o comportamento do processo de preenchimento do molde. As amostras do produto devem ser totalmente avaliadas quanto a sua capacidade de suportar tensões termomecânicas e resistir à penetração de umidade.

4.4.3 – Melhoria contínua do processo

O Controle Estatístico de Processos (CEP) é normalmente empregado na melhoria contínua do processo, por causa da fabricação em larga escala dos MEPs e também do uso de técnicas de montagem automatizadas. Uma série de inspeções ou medidas pode ser feita nos parâmetros críticos do processo para determinadas amostras da produção. Gráficos de controle podem ser “plotados”, após terem sido estabelecidos limites superiores e inferiores de controle. Esses gráficos de controle revelam quando o processo está fora do controle, e medidas apropriadas podem ser tomadas para sua correção. Exemplos de parâmetros críticos de processo de moldagem, que devem ser controlados estatisticamente, são os seguintes:

- Pressão e velocidade do sacador (ram *),
- Pressão de empacotamento (“packing”),
- Ponto “freeze-off” * no “gate” (ponto em que o material de moldagem torna-se gelatinoso na porta (gate) e a aplicação de mais pressão de “packing” nas cavidades não é mais possível)

As análises das falhas devido às reclamações e retornos dos componentes do campo de aplicação e as realimentações dos usuários, são também aspectos importantes em qualquer programa de melhoria de processo. Os resultados dessas atividades podem ser avaliados para verificar as tendências. Ações corretivas ou ajustes, quando aplicáveis, podem ser incorporadas ao projeto ou ao processo de fabricação.

4.5 – Efeitos na montagem de placas de circuito impresso

A montagem de placas com MEPs é um sério desafio de confiabilidade. Problemas e/ou falhas podem estar relacionados às técnicas de soldagem, ao uso do fluxo de solda e à quantidade de umidade que o empacotamento do MEP possa ter absorvido. Esta seção aborda os problemas que podem ocorrer durante os processos de soldagem, na utilização de fluxos e na absorção de umidade na espera da montagem final.

4.5.1 – Processos de soldagem

Diferentes técnicas de soldagem são utilizadas para montagem dos MEPs em placas de circuito impresso. A soldagem por onda foi introduzida nos anos 50 como um processo para grande produção para soldar componentes do tipo furo passante (PTH) na PCI e é usado até hoje. Na soldagem por onda, os terminais dos componentes são inseridos nos furos da placa e esta por sua vez, é colocada sobre uma cinta transportadora. A placa sobre a cinta é transportada através de uma região de pré-aquecimento e depois de um banho de solda em fusão (geralmente mantido a 250° a 260°C), onde uma onda de solda é produzida por turbulência, por uma bomba. Na prática, a onda de solda toca os terminais dos MEPs, “molhando” (soldando) todos os terminais e furos metalizados.

Atualmente, a soldagem por onda é também usada para o tipo de empacotamento de montagem superficial e freqüentemente durante este processo, a onda de solda toca o corpo do empacotamento do MEP e os terminais simultaneamente. Isto pode provocar danos, particularmente se o MEP contiver muita umidade absorvida, podendo produzir o conhecido efeito “popcorn”.

Os processos de soldagem por refusão foram desenvolvidos para uso em SMD e são usados de maneira geral para montagem de placas. Dois processos são comumente usados: o “vapor phase reflow” e o “infra-red reflow”. Na soldagem a “vapor phase” *, a solda é aplicada na forma de uma pasta nos “pads” de metalização sobre a placa. Os componentes são temporariamente fixados à placa, pressionando-se levemente os terminais na pasta de solda. A placa é pré-aquecida e depois transferida

para uma zona de vapor que é gerada pela ebulição de um fluido flúor-carbônico. O vapor condensa-se na placa a uma temperatura elevada (tipicamente na faixa de 213° a 232° C). A pasta de solda funde-se, causando a refusão, e o resultado disso é a fixação permanente dos componentes na placa.

O processo de refusão da pasta de solda, aplica calor em todo o empacotamento do MEP. Com isso, surge uma grande preocupação com a umidade absorvida dentro do MEP. O efeito “popcorn” pode ocorrer, especialmente no processo de refusão no “vapor phase”. Além disso, a trinca no empacotamento pode ocorrer devido à tensão proveniente dos gradientes térmicos entre o núcleo e a superfície do empacotamento do MEP.

A soldagem manual que tem sido substituída em larga escala pelas técnicas de montagem automatizadas é ainda usada em certas aplicações. Ela pode ser usada na substituição de componentes e no retrabalho das placas. O dano nos componentes pode ocorrer durante a soldagem manual se o calor for aplicado a cada terminal por mais de 10 segundos. (Deve-se notar que o retrabalho expõe os componentes vizinhos às tensões térmicas e mecânicas adicionais que podem resultar na propagação de alguma trinca interna iniciada anteriormente).

Uma outra preocupação durante a soldagem dos MEPs nas placas de circuito impresso é a utilização simultânea de componentes de montagem com furos passantes e de montagem superficial. Inicialmente todas as técnicas de soldagem foram desenvolvidas ou para componentes com montagem de furos passantes ou para montagem superficial, mas não para ambos simultaneamente. Conseqüentemente, placas contendo ambos os tipos de empacotamento, requerem processos seqüenciais e uma das tecnologias de empacotamento será exposta a dois diferentes processos de soldagem.

4.5.1.1 – Desenvolvimento e controle dos processos de soldagem

Todos os aspectos da soldagem e os seus processos relacionados, precisam ser cuidadosamente observados e controlados, de modo a se minimizar o risco de

danificar os MEPs. Uma maneira de fazer isto, é utilizando a técnica do projeto de experimentos, “Design of Experiment” (DOE) em que múltiplas combinações de variáveis de processos são usados para montagem de amostras de placa. Como exemplo, várias amostras podem ser caracterizadas variando-se a duração e as temperaturas do pré-aquecimento, a temperatura máxima, a taxa de variação de temperatura e a duração do calor aplicado durante a soldagem.

- a. Duração do pré-aquecimento,
- b. Temperatura do pré-aquecimento,
- c. Temperatura máxima,
- d. Taxa de variação de temperatura,
- e. Duração do calor aplicado durante a soldagem.

As amostras podem ser examinadas visualmente e/ou ensaiadas termicamente para se determinar o perfil ótimo de soldagem.

Os parâmetros chaves e seus limites podem ser identificados através dos experimentos, conduzidos no estágio de desenvolvimento do processo. Isto torna o uso do Controle Estatístico de Processo uma técnica efetiva no controle dos processos de montagem.

Ensaio altamente acelerados de fadiga de amostras de placas, usando umidade e temperatura, “Highly Accelerated Temperature and Humidity Stress Testing” (HAST) são realizados, a fim de se avaliar os efeitos de longo prazo sobre a confiabilidade das conexões soldadas. O impacto de todo o processo de montagem (incluindo os efeitos da contaminação) sobre o empacotamento do MEP pode também ser avaliado, realizando a Análise Física Destrutiva, “Destructive Physical Analysis” (DPA) nas amostras de MEP, após serem exposta ao processo de montagem.

4.5.2 – Fluxos

Os processos de soldagem normalmente empregam fluxos que possibilitam a molhagem da solda em superfícies metálicas, removendo a oxidação superficial das

superfícies as serem soldadas. Os fluxos também protegem as superfícies metálicas de uma re-oxidação durante a soldagem, reduzindo as tensões superficiais da solda em fusão e proporcionando maior espalhamento do fluxo. Os fluxos podem estar contidos nas pastas de solda ou serem aplicados em separado.

Os fluxos são as principais fontes de contaminação iônica. Eles contêm ingredientes perigosos tais como ácido clorídrico e outros componentes halogênicos. Fluxos altamente ativados, tal como o ácido orgânico (AO) podem ser particularmente prejudiciais. O fluxo, se alcança a superfície da pastilha, pode produzir corrosão na sua metalização.

Para se evitar o problema, somente fluxos medianamente ativados, do tipo "rosin mildly activated" (RMA), devem ser usados na soldagem e todo o fluxo residual deve ser totalmente removido. Vários tipos de inspeção e de ensaios podem ser usados para confirmar a sua remoção. Por exemplo, inspeção visual com auxílio de microscópio, sob condição de luz ultravioleta é normalmente empregado, porque muitos fluxos fluorescem sob essas condições, facilitando a sua detecção. A presença de resíduos de fluxo pode ser detectada através da cromatografia de íons, onde a água extraída da placa é medida para se constatar a presença de contaminantes iônicos, baseada na sua condutividade elétrica.

4.5.3 – Umidade interna

Todo MEP absorve umidade. Nessa condição têm uma vida limitada. Um limite de umidade absorvida de 0,11% em peso é geralmente aceito, como uma referência limite, para um conteúdo de umidade interna (ANSI/IPC, 1990). Alguns estudos independentes sugerem que o limite permitido de umidade deva ser menor para os tipos de empacotamento usados para SMD. Isto é o mesmo que dizer que nesse nível de umidade, o empacotamento agüenta a temperatura de soldagem sem trincar. Uma vez excedendo esse limite, a possibilidade de trinca durante a soldagem aumenta rapidamente.

O período de tempo em que os MEPs podem ficar expostos ao ambiente de montagem, depende do conteúdo inicial de umidade do MEP, da temperatura e da umidade relativa do ambiente de montagem. Os MEPs sem umidade, i.e. empacotamento com espessuras relativamente grandes tais como DIPs, absorvem umidade além do conteúdo seguro de 0,11% por peso em aproximadamente 130 horas, em ambiente de montagem de 30°C e 60% de umidade relativa. A fim de se evitar o problema do efeito “popcorn”, os MEPs devem ser armazenados em ambientes com baixa umidade relativa, tanto quanto possível, sem introduzir problemas com ESD, ou devem ser pré-aquecidos para remover umidade antes do processo de soldagem.

4.6 – Efeitos em ambientes espaciais

Os efeitos sobre os MEPs, em cada fase da missão espacial, desde a montagem inicial do hardware até a missão em órbita, devem ser totalmente avaliados. Uma característica fundamental e, quase sempre esquecida, presente na maioria dos programas espaciais é o período prolongado de estocagem do hardware e os ensaios que precedem o lançamento. Após a fase de aquisição/suprimento (“procurement”) é comum levar vários anos para que os componentes, finalmente operem montados em seus respectivos equipamentos. As PCIs (placas de circuito impresso) são montadas e integradas, progressivamente, em níveis de integração, cada vez maiores e finalmente ensaiadas, antes que todo o sistema seja concluído e lançado. Muitas vezes, o hardware sobressalente é empregado em diferentes programas espaciais, e em tais circunstâncias, o hardware pode ficar armazenado indefinidamente, antes de ser finalmente utilizado. Se os MEPs são empregados nestes casos, eles devem ser mantidos isentos de umidade e em temperaturas controladas, livres de contaminação.

Durante os ensaios no nível de sistema, os MEPs estão sujeitos a vários ambientes de ensaios: vibração mecânica, termo-vácuo, ciclagem térmica, aceleração, vibração acústica e choque mecânico. Além disso, o sistema pode ainda ficar exposto a uma verificação operacional prolongada. Os MEPs podem ser submetidos até 2000 horas em condições operacionais. Os MEPs são particularmente

resistentes ao ambiente de “stress” mecânico, apresentando vantagens sobre os dispositivos com cavidades hermeticamente seladas. Portanto, ensaios de vibração, aceleração e choque não devem apresentar maiores problemas. A exposição prolongada em ambiente de termo-vácuo, dissipando potência, pode ser benéfica aos MEPs, porque nessas condições a umidade é removida da pastilha e do empacotamento. No entanto, ao mesmo tempo, as tensões térmicas geradas durante essas exposições podem criar alguns efeitos indesejáveis. (Veja item 4.3 sobre Mecanismos e Modos de Falha do Tipo Fadiga).

Durante o ensaio de ciclagem térmica é possível que o MEP seja exposto à umidade. Se isto ocorrer será necessário realizar o “baking-out” para remover a umidade absorvida.

Por causa de sua construção sólida, os MEPs, exceto os TSOP e empacotamentos similares, não devem sofrer tensões mecânicas (choque e/ou vibração) durante e após o lançamento.

Uma vez em órbita, os MEPs se beneficiam do ambiente a vácuo. Qualquer umidade absorvida é removida da pastilha e do empacotamento.

Os MEPs não são capazes de suportar as temperaturas externas de alguns ambientes espaciais ou de certas aplicações. Portanto, cada aplicação espacial deve ser prevista e totalmente avaliada previamente. Por exemplo, calor proveniente de radiação ultra-violeta, variações do ciclo solar e o frio externo devido a exposição criogênica, podem exceder os limites do encapsulamento plástico. Deformações e trincas (rachaduras) podem ocorrer. Do mesmo modo, equipamentos contendo MEPs, envolvendo transferências rápidas de hardware nas condições atmosféricas para ambientes a vácuo, na temperatura ambiente, podem provocar trincas/rachaduras nos MEPs, havendo alto índice de umidade.

A maioria dos plásticos usados nos MEPs contém toxinas que são produzidas no caso de um incêndio. Portanto, precauções quanto à segurança devem ser tomadas se os MEPs forem empregados em ambientes confinados de missões tripuladas.

Com relação aos efeitos da radiação (efeitos da dose total e do fenômeno do evento único, "Single Event Upset" (SEU) (Dyer, 1999), (Normand, 1996), (Winokur et al., 1999)), em empacotamento plástico, acredita-se que o resultado é o mesmo que acontece com os dispositivos selados hermeticamente. No entanto, é possível que, num determinado período de tempo, a umidade absorvida dentro do material plástico, possa liberar hidrogênio que por sua vez, poderá gerar armadilhas na pastilha. Isto poderia resultar na degradação do desempenho elétrico, durante a exposição à uma dose total de radiação.

4.7 – Levantamentos da Confiabilidade

A confiabilidade dos MEPs tem aumentado acentuadamente nos últimos 30 anos, devido à contínua melhoria nos materiais e nos processos de fabricação, conforme já visto. Nesta seção são apresentados os primeiros e posteriores levantamentos das taxas de falha de MEPs realizados em algumas instituições.

4.7.1 – Melhoria contínua dos MEPs

Os materiais e os processos envolvidos na fabricação do MEP sempre sofreram melhoria desde a sua concepção. Na sua fase inicial (de 1964 a 1972), era comum lotes apresentando 10% de falhas após 24 horas de ensaio em 85^o C de temperatura e 85% de umidade relativa (85/85). No início dos anos 70 com a introdução e o desenvolvimento das resinas epóxis "Novolac", os lotes de MEPs puderam sobreviver 72 horas de ensaios 85/85, antes que 10% das falhas ocorressem. Durante o intervalo de tempo, entre os últimos anos da década de 70 até os últimos anos da década de 80, lotes com nível de qualidade mais elevado, foram produzidos e estes apresentaram taxas de falha menores que 10%, depois de 240 horas de ensaios 85/85.

A taxa de falha dos MEPs tem decaído acentuadamente desde 1978. A Figura 4.7 mostra que a taxa de falha dos MEPs e dos herméticos tem diminuído por um

fator de 10 no período de 1978 a 1988. As taxas de falha no referido gráfico são para o mesmo componente, no decorrer do tempo. (Os dados usados para levantamento das curvas da Figura 4.7 foram tirados do primeiro ano de retorno do período de garantia de equipamentos comerciais (escritórios, laboratórios e portáteis) (Priore, 1992). A solicitação dos clientes por níveis AOQs * (Average Outgoing Quality) menores que 20 ppm e taxas de falha da ordem de 10 FITs (falhas no tempo) eram muito comuns na época (1994)). (Schultz, 1994).

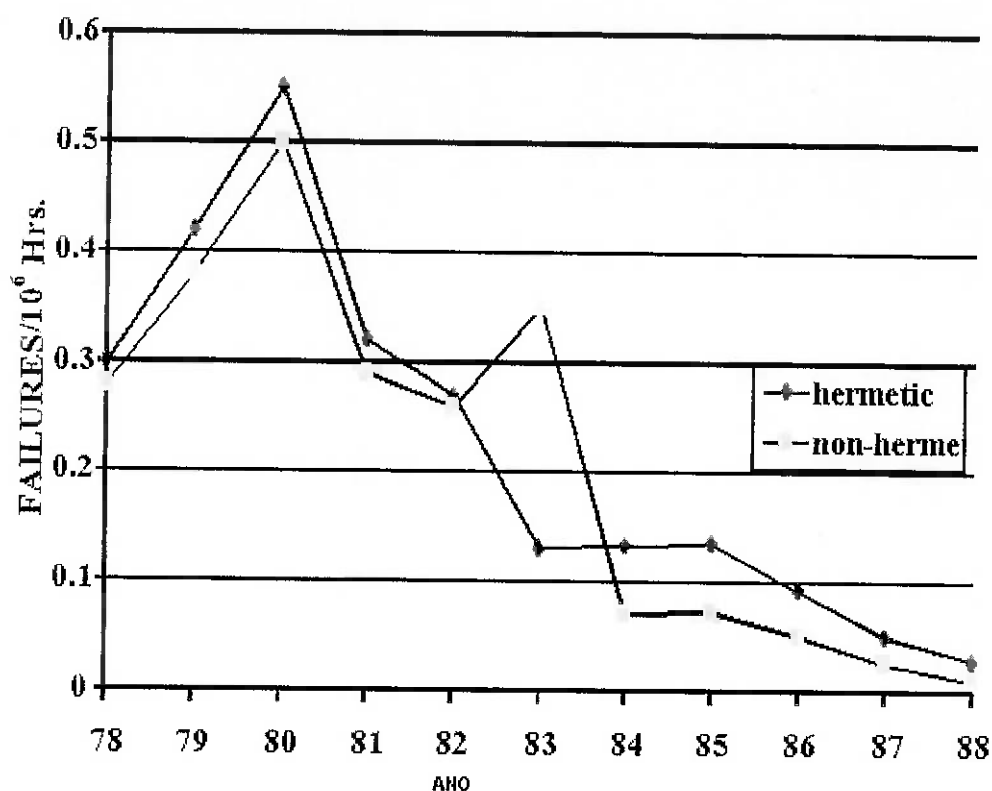


Figura 4.7- Taxa de falha de Circuito Integrado no decorrer do tempo
(Priore, 1992)

4.7.2 – Resultados de ensaios independentes

Desde o aparecimento dos MEPs muitas avaliações e levantamentos de confiabilidade foram realizados. Desses levantamentos foram realizadas comparações entre os empacotamentos dos MEPs e dos cerâmicos.

4.7.2.1 – Primeiros levantamentos de Confiabilidade

Levantamentos realizados no período de 1970 a 1980, indicam que os MEPs apresentavam alta percentagem de falha quando eram submetidos a vários ensaios de estresse ambiental de longa duração. Um exemplo ilustrativo é um levantamento realizado pela NASA no Goddard Space Flight Center (NASA, 1980).

Nesse levantamento, 6000 MEPs (com “date code” de 1976 a 1977) foram divididos em grupos e submetidos a vários tipos de ambientes. Os componentes foram também ensaiados quanto à resistência à radiação e à propriedade de degasagem de materiais. Os ensaios foram estabelecidos de modo que as diferenças entre os fabricantes, as tecnologias de processamento e os lotes individuais pudessem ser levantados. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 4.1.

As seguintes conclusões foram obtidas desses resultados de ensaios:

- Havia no passado uma grande diferença no desempenho entre as tecnologias,
- Uma grande variação no percentual de falhas podia ser notada nos produtos de diferentes fabricantes,
- Havia grandes variações entre lotes de um mesmo fabricante,
- Susceptibilidade a falha aumentava, na medida que a complexidade do dispositivo aumentava,
- Os MEPs eram susceptíveis a degradação, quando armazenado durante muito tempo.

Tabela 4.1- Resumo dos resultados de avaliação de MEPs com datas de fabricação 1976 e 1977 (Kramer, 1980)

		Percentual de	Falhas (média)	Mecanismo de Falha	
Ensaio	Qtd.	CMOS	Schottky	CMOS	Schottky
2000 horas	240	83%	32%	Contaminação Iônica	Corrosão
Polarização reversa 85/85	240	9,6% (500 hrs) 25,8%(1000hrs)	1,3% (500hrs) (Nota 1)	Contaminação Iônica/Corrosão	
Nenhuma polarização 85/85 (500 horas)	240	1,7%	(Nota 2)	Contaminação Iônica/Corrosão	
Auto clave (15 psig, 121C, 100%)	240	2,1% (100 hrs) 5,0% (200 hrs)	0,8% (100 hrs)	Contaminação Iônica/Corrosão	
Ciclagem em Temperatura	60	22% (750 hrs) 47% (2500 hrs)	37% (750 hrs) 51% (2500 hrs)	Quebra de fio (Nota 3)	
Armazenagem Controlada	Qtd.				
45% U.R.	240	0% (8 meses) 0% (2 anos)	2,5% (8 meses) 2,5% (2 anos)	Catastrófico	Parâmetro
95% U.R.	240	1,3% (8 meses) 7,5% (2 anos)	3,3% (8 meses) 4,6% (2 anos)	(Corrosão)	Degradação
Resistência à Radiação	15	Nota 4		Não Aplicável	
Degasagem de materiais	Nota 5	Nota 6		Não Aplicável	

Notas:

1. Ensaio descontinuado devido à pequena percentagem de falha.
2. Ensaio não realizado por causa de resultados anteriores de ensaio 85/85 com polarização reversa, mostraram que poucas falhas poderiam ser esperadas na ausência de polarização.
3. Todas as falhas (ambas tecnologias).
4. Nenhuma diferença observada entre encapsulamentos plástico e Cerdip (cerâmico).
5. Amostras de todos os fabricantes e de todos os “date codes” foram ensaiados para o percentual de perda de massa total (TML) e percentual de material condensável volátil coletado (CVCM) pela norma ASTM-E-595 (ASTM,1999).
6. Todas as amostras aceitáveis: boa uniformidade para todos os produtos e lotes de fabricantes.

4.7.2.2 – Levantamentos posteriores da Confiabilidade

Levantamentos da confiabilidade foram realizados após um período de melhoria nas características dos MEPs (década de 80 e início da década de 90). Alguns desses levantamentos são apresentados a seguir. Em geral, esses levantamentos nos trouxeram novas conclusões:

- Sob certas condições ambientais de ensaio, pode-se esperar dos MEPs, uma taxa de falha comparável a dos dispositivos empacotados em cerâmica,
- A variabilidade de fabricante para fabricante e de lote para lote diminuiu, isto é, os resultados de ensaios são mais consistentes para diferentes produtos dos fabricantes e para diferentes lotes de um dado fabricante.
- Os MEPs têm apresentado, segundo Weil (1993), significativamente, melhores taxas de falha em relação àquelas apresentadas no documento MIL-HDBK-217 (Department of defense, 1991).

A seguir uma breve apresentação sobre esses levantamentos.

4.7.2.2.1 Rockwell International

A empresa Rockwell International, do Grupo Collins (Pecht et al., 1993), comparou componentes do tipo DIP e SMD, ambos com empacotamento em plástico e com empacotamento cerâmico DIP (CERDIP). Os lotes eram constituídos inteiramente de portas NAND de duas entradas provenientes de 5 fabricantes diferentes. A tecnologia bipolar (54L500, 74L500) e a HCMOS (54HC00, 74HC00) foram ensaiadas sob as seguintes condições:

- Todos os componentes foram montados em placas de circuito impresso (PCI) e alimentados com 5 volts.
- As PCIs foram colocadas numa câmara e estabilizadas em 98% de umidade relativa.
- As PCIs sofreram 883 ciclos de -40°C a 85°C , com 4 horas/ciclo, para simular um ambiente de aviônica no pior caso. A duração do ensaio foi de 3532 horas, fornecendo aproximadamente 14.550.000 dispositivos-hora de operação.
- As medidas elétricas foram realizadas em 0, 168, 504, 1008, 1512, 2016, 2524 e 3532 horas. Os resultados estão na Tabela 4.2 mostrando que somente 3 falhas confirmadas ocorreram, sendo 2 atribuídas ao CERDIP.

A grande diferença nas taxas de falha, mostrada na Tabela 4.2, é devido à perda de hermeticidade da selagem a vidro dos encapsulamentos do tipo CERDIP.

Tabela 4.2- Resumo da Avaliação de Confiabilidade da Rockwell (Grigg, 1986).

Ensaio	Condições	Tipo de Encapsulamento	QTD.	Horas	Taxa* de Falha (%/10 ⁶ horas)
Ciclagem de temperatura com tensão aplicada	-40 a +85C, 4 hs/ciclo, 5v de pol., 98% U.R. 883 ciclos	Plástico (DIP, PLCC, SOIC) (1 falha)	2920	1,24X 10 ⁸	1,6
		CERDIP (2 falhas)	1200	5,09 X 10 ⁷	6,1

*Taxas de falha com 60% de limite superior de confiança estatística baseado na distribuição qui-quadrado unilateral

4.7.2.2.2 Ministério da Defesa Francês

Em 1989, o Ministério Francês da Defesa patrocinou um ensaio extensivo dos MEPs de vários fabricantes, como parte de um levantamento de viabilidade do uso dos MEPs. O objetivo final do estudo era estabelecer uma norma de qualificação para os MEPs. Aproximadamente 1200 dispositivos de 9 diferentes fabricantes foram avaliados. Os componentes eram empacotados em SOTs, PLCCs e PQFPs e incluía funções “Small Scale Integration” (SSI) a “Very Large Scale Integration” (VLSI) em várias tecnologias, representativas de uma lista de componentes e que foram divididos em grupos: todos foram montados em PCIs, alguns dos quais funcionando. As PCIs, foram submetidas à diferentes seqüências de ensaio que incluía várias

combinações de ciclagem térmica 85°C/85% de umidade relativa (com e sem alimentação), HAST (130°C/85% de umidade relativa, com alimentação), armazenamento a frio de -55°C e teste de vida (até 4000 horas).

Uma amostragem dos resultados dos ensaios é apresentada nas Tabelas 4.3a e 4.3b.

Tabela 4.3a- Resultados obtidos após ciclagem térmica mais ensaio 85°C/85% com polarização. (LeRose et al, 1990)

Ref.	300 TC	Duração do calor úmido 85/85			
	T=-55/125	500H	1000H	2000H	4000H
A	0/30	0/30	0/30	0/30	0/30
B	0/30	0/30	1/30	0/30	0/30
C	0/30	0/30	0/30	0/30	0/30
D	0/30	2/30	0/28	2/28	4/26
E	0/30	0/30	0/30	0/30	0/30
F	0/30	0/30	0/30	0/30	0/30
G	0/30	0/30	0/30	0/30	0/30
H	0/30	0/30	0/30	0/30	0/30
I	0/30	0/30	0/30	0/30	0/30
J	0/30	0/30	0/30	0/30	0/30

Quantidade de ciclos térmicos "Thermal cycling" (TC)

Ref.	300 TC	Duração do calor úmido 85/85			idem	Idem	idem	idem
	T=-55/125	500H	1000H	2000H	3300H	4000H	5000H	6000H
K	0/80	0/80	1/80	0/79	0/79	0/79	0/79	0/79
L	0/60	2/60	1/58	1/58	2/57	0/55	3/55	-

Tabela 4.3b- Resultados obtidos após ciclagem térmica mais

HAST (130° C/85% U.R.) com polarização . (LeRose et al, 1990)

Ref.	300 TC	Após HAST 130C/85% UR			
	T=-55/125	168H	500H	750H	1000H
A	0/30	0/30	2/30	14/28	3/14
B	0/30	2/30	7/28	3/21	12/18
C	0/30	0/30	0/30	0/30	0/30
D	0/30	1/30	8/29	1/21	1/20
E	0/30	0/30	6/30	3/24	0/20
F	0/30	3/30	14/27	12/13	-
G	0/30	0/30	0/30	0/30	0/30
H	0/30	0/30	0/30	0/30	0/30
I	0/30	0/30	2/30	28/28	-
J	0/30	0/30	0/30	0/30	0/30

Ref.	300 TC	Duração do HAST (130C/85% UR)							
	T=-55/125	42H	100H	168H	250H	500H	750H	1000H	1250H
K	0/80	-	0/80	-	0/79	1/79	3/78	0/75	7/75
L	0/60	3/60	3/57	0/54	2/54	1/52	4/51	7/47	5/40

Se todos os resultados fossem integrados, um total de 17 defeitos teria ocorrido após 1,8 milhões de dispositivos-hora em 85°C e 85% de umidade relativa. As referências D e L são componentes analógicos bipolares que foram alimentados com tensões maiores que os componentes digitais. Isto, provavelmente, explica a quantidade elevada de falhas observadas para esses dispositivos.

Pode ser visto na Tabela 4.3b que as condições HAST de 130°C e 85% de umidade relativa eram muito mais severas (fator de aceleração foi calculado para ser 45) do que as condições 85/85 cujos resultados são mostrados na Tabela 4.3a. Após combinar estes resultados, 158 defeitos ocorreram após 0,36 milhões de dispositivos-hora. No entanto, mais importante, estes resultados mostraram que 4 componentes de

fabricantes (C, G, H e J) não apresentaram falhas, mesmo após 100 horas em condições de estresse, após ter sido inicialmente soldados nas PCIs e, em seguida, submetidos a ensaios de ciclos de temperatura. Conclui-se que os MEPs podem suportar altos níveis de estresse de temperatura e umidade sem apresentarem falhas, quando são empregados bons materiais na sua construção, mantidos controles adequados de processo e limpeza durante a fabricação.

4.7.2.2.3 Levantamento do Centro de Pesquisa de Empacotamento Eletrônico da Universidade de Maryland (ELDEC/CALCE)

Condra e sua equipe (1992), realizaram um levantamento singular de comparação entre os MEPs e os microcircuitos herméticos. Os componentes foram fabricados usando a mesma pastilha nos dois empacotamentos, plástico e hermético, e foram avaliados sob condições de ciclagem de temperatura e temperatura/umidade/alimentação (“Temperature-Humidity-Bias” (THB)). Um microcircuito do tipo “semi-custom” (feito por encomenda), com encapsulamento em DIP de 18 terminais, foi usado como espécime de ensaio.

Duzentos dispositivos empacotados em plástico e duzentos em cerâmico foram divididos em grupos e ensaiados sob condições de ciclagem de temperatura (-55°C a 85°C) com e sem alimentação e no THB (85°C/85% de umidade relativa), 14 volts foram aplicados no microcircuito, sendo 30 minutos ligado e 30 minutos desligado, como mostrado nas Figuras 4.8a e 4.8b. Os ensaios incluíram componentes montados e não montados em PCIs.

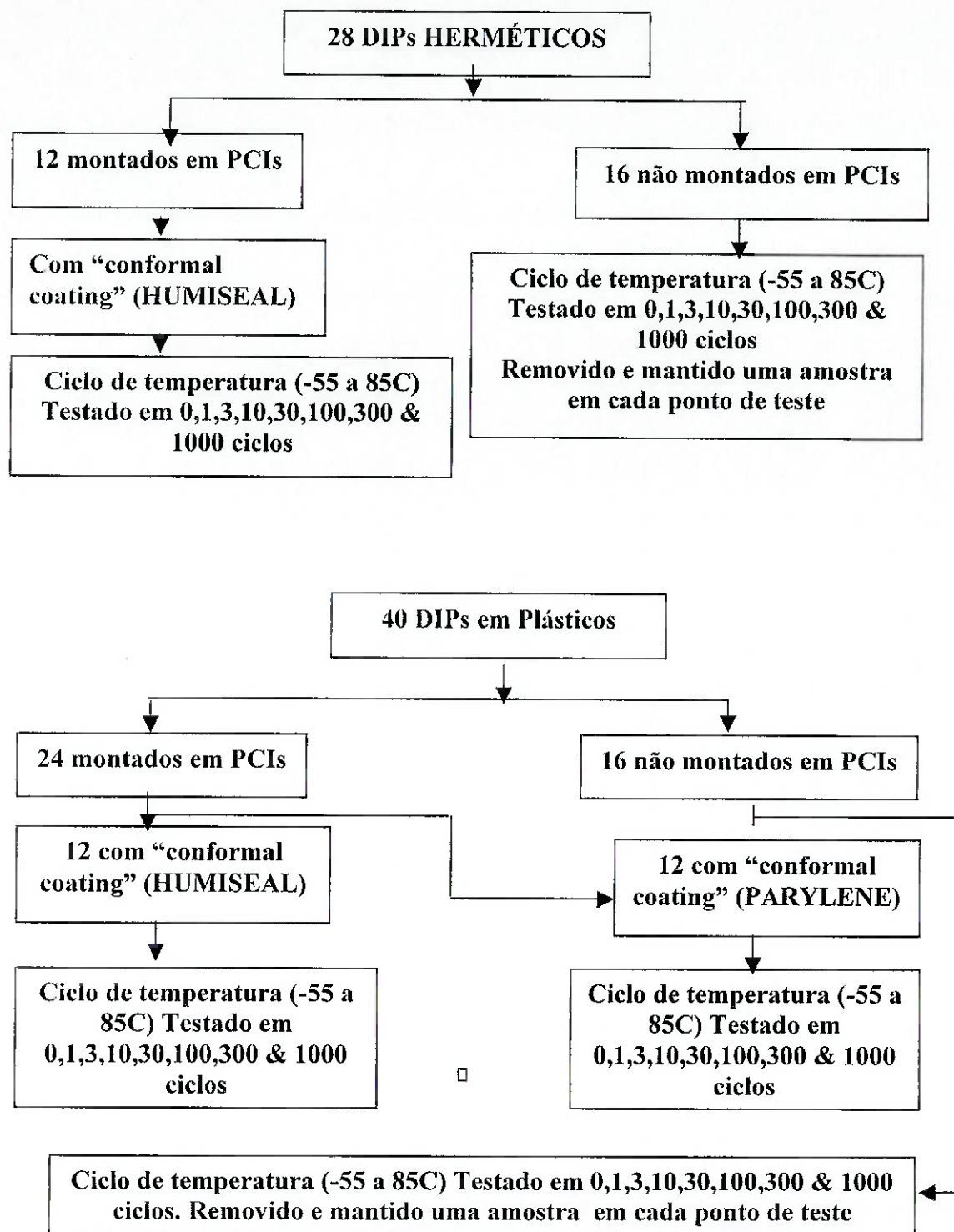


Figura 4.8a- Diagrama do plano de ensaio para ciclagem de temperatura

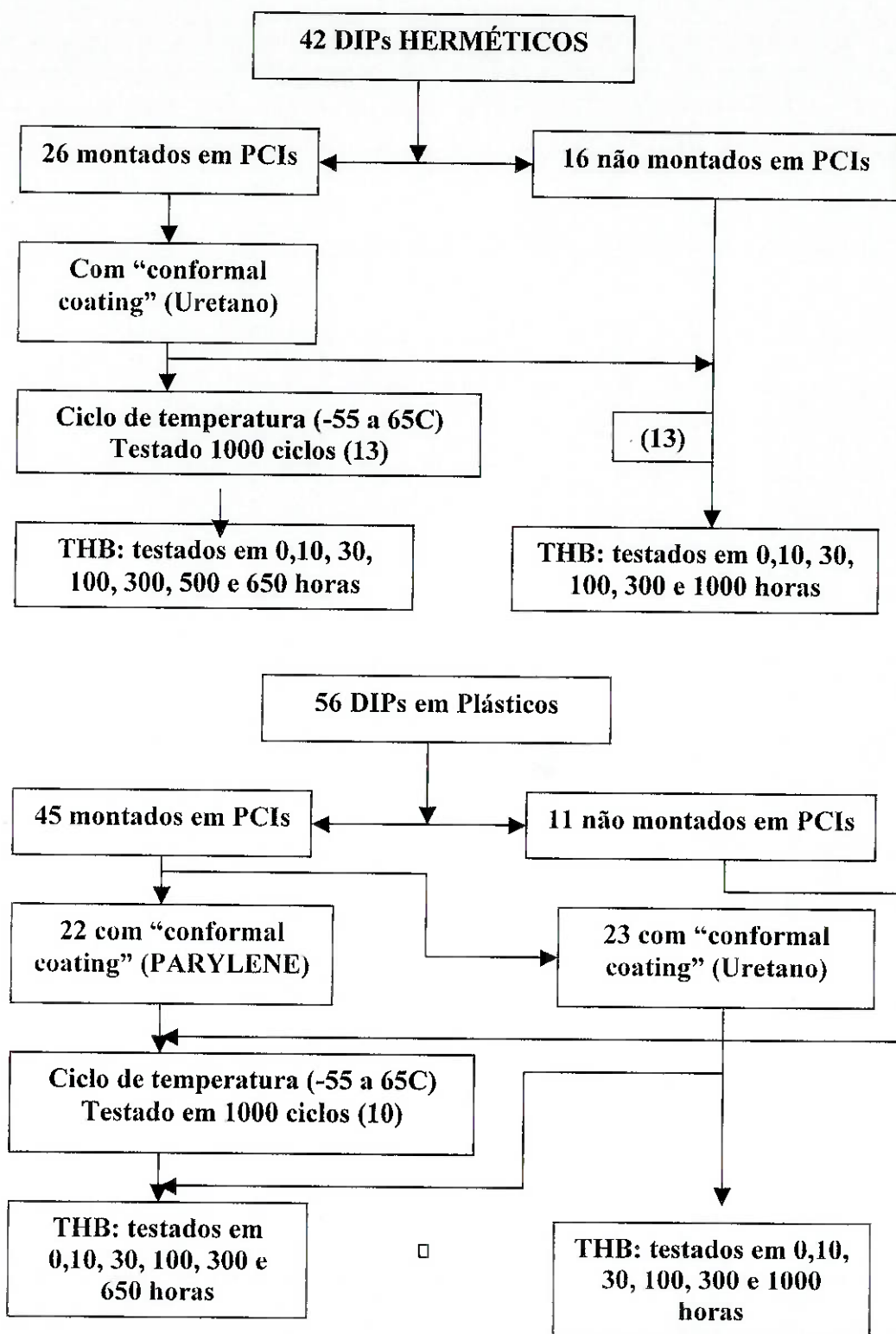


Figura 4.8b- Diagrama do plano de ensaio para o "Temperature, Humidity and Bias" (THB)

Durante todo o ensaio somente uma falha válida foi observada, e esta falha ocorreu num dispositivo com encapsulamento em cerâmica. Concluiu-se que, o desempenho global dos MEPs era virtualmente idêntico aquele dos dispositivos em cerâmico com relação à ciclagem de temperatura e ao ambiente (THB).

Leonard Weil et al., (1993) compararam as taxas de falha de várias famílias de MEPs, usando dados de campo como também de ensaios de aproximadamente 25×10^9 dispositivo-horas de ensaio de vida de componentes de 11 grandes fabricantes. Os dados foram avaliados usando as taxas de falha do documento MIL-HDBK-217, para microcircuitos cerâmicos classe B, usado como “benchmark” *. Além disso, os dados de confiabilidade foram analisados para os MEPs e os herméticos, em condições de ciclagem térmica, em pelo menos 2000 dispositivos.

Os resultados dos ensaios de vida (Tabela 4.4a) mostram que os MEPs têm, significativamente, menores taxas de falha em relação microcircuitos herméticos classe B, listadas na MIL-HDBK-217. Os valores das taxas de falha avaliadas, foram obtidos através de estimativas pontuais, com intervalos de confiança variando entre 60% e 90% e com temperaturas de junção, variando entre 25°C e 90°C. A condição escolhida para análise, foi usar os dados avaliados no ensaio de vida na temperatura de junção de 70°C, com taxa de falha avaliada, baseada no intervalo de confiança de 60% para o limite superior de confiança estatística (LSCE). Estas condições foram selecionadas, porque a temperatura de junção dos componentes prevista para a maioria dos sistemas, seria de 70°C e também, porque o intervalo de confiança de 60% era consistente com as probabilidades das taxas de falha, relacionadas com as taxas de falha do documento MIL-HDBK-217.

Os resultados dos ensaios de ciclagem de temperatura (Tabela 4.4b) demonstraram que ambos os encapsulamentos plástico e hermético apresentam poucas falhas. Para um dado intervalo de confiança do LSCE de 60%, os dados indicaram que os MEPs são comparáveis aos herméticos. Este intervalo de confiança de 60%, segundo Leonard Weil et al., 1993, sendo um valor baixo, é usado para

comparações com métodos empregados no documento MIL-HDBK-217 que utilizam equações de aceleração e análises estatísticas.

Deve-se ter em mente que o propósito do resumo apresentado acima, de todos os resultados desses levantamentos, não é demonstrar que os MEPs são tão bons quanto, ou melhores que os encapsulantes herméticos. Em vez disso, esses resultados demonstram que os materiais e os processos de fabricação dos MEPs, têm avançado a ponto de alguns fabricantes serem capazes de produzir componentes de altíssima confiabilidade, empregando encapsulamentos plásticos.

Tabela 4.4a- Resumo da Taxa de Falha para um LSC de 60%.

(Os fabricantes são: Altera, Analog Devices, Atmel, Harris Semiconductor, Hitachi, IDT, Linear Technologies, Maxim, Motorola, Signetics, Texas Instruments, Unitrode) (Leonard Weil et al., 1993)

CLASSE & P/N	Fornec	TIPOS	Falhas (número)	Tempo (10 ⁶) Nota 1	Taxas de Falha Avaliadas (FIT) Nota 2	Taxas de Falha HDBK- 217 (FIT)	Rel. HDBK /217 ^{aval}
Microproc essador MC68HC0 0	A	Vários	18	227	87		
	C	Vários	0	243	3,8		
	H	80C386	7	44	190		
			— 25	— 514	— 52,4	121	2,3
Memórias 32Kx8 (SRAM)	C	Vários	0	359	2,5		
	E	Vários	0	22	41,		
	I	Vários	0	18	50		
			— 0	— 4000	— 2,3	666,	290
CIs digitais 54HC244	A	HC & HCT	0	183	5,0		
	K	HC & HCT	2	440	7,1		
			— 2	— 623	— 5,0	19,2	3,8
PLAs, EPM5128	E	Vários	93	1407	68	209	3,1
CIs lineares LM 2903	B	Vários	7	13451	0,6		
	D	Vários	25	356	76,0		
	F	Vários	2291	8143	280,		
	J	UC3843N	0	2	460,		
	K	Vários	22	325	73,		
	G	Vários	0	211	4,3		
			2345	22489	105,	28,3	0,27

Nota 1: Este é o tempo equivalente (extrapolado para 70°C). Está arredondado para o mais próximo de 10⁶ horas. Todos os cálculos foram realizados sem aproximações.

Nota 2: Essas taxas de falha foram arredondadas para incluir algumas incertezas nos resultados.

Tabela 4.4b- Limite superior de controle da taxa de falha na ciclagem térmica.
(As taxas de falha foram calculadas para 1000 ciclos em 60% de nível de confiança unilateral superior) (Os fabricantes são: Motorola e Linear Technologies).

Fonte: (Leonard Weil et al., 1993)

Fabri cantes	Dispositivos	Faixa de Temperatura	Falhas	Ciclos do dispositivo (10 ⁶ ciclos) Nota 1	Limite superior de controle da Taxa de falha (FIT)
B	Plástico	-65C a +125C	0	19,1	48
B	Hermético	-55C a +125C	0	2,3	396
A	Plástico	-65C a +125C	2	8,4	370
A	Hermético	-65C a +125C	1	3,1	660

Nota 1: Esses números foram arredondados para o mais próximo de 10⁶ ciclos. Todos os cálculos foram realizados com números não arredondados.

4.7.3 – Taxas recentes de falha dos MEPs

Nos primeiros anos da década de 90 a taxa de falha dos MEPs era de aproximadamente 0,02 falhas/10⁶ horas e era muito consistente com várias fontes de dados. A consistência deste dado confirma que existe agora muito menos variabilidade entre materiais encapsulantes e entre fabricantes, pelo menos aqueles fabricantes que fornecem MEPs para uso em aplicações comerciais de alta confiabilidade. Embora as taxas médias de falha para várias fontes sejam similares, na verdade, ela é baseada na média de diferentes tipos de componentes. Portanto, a taxa de falha observada de um componente em particular, pode variar significativamente.

Há ainda, uma quantidade enorme de dados que claramente demonstram que os MEPs têm melhorado, acentuadamente, até o presente momento. No entanto, algumas pessoas acreditam que a maioria desses dados, relaciona-se ao início de vida dos MEPs (sem o efeito do envelhecimento) e que há ainda poucos dados, para se estabelecer a confiabilidade de longo prazo dos MEPs.

5.0—CONSIDERAÇÕES SOBRE AVALIAÇÃO DE CONFORMIDADE

A avaliação de conformidade dos MEPs é um passo importante para se determinar se eles atendem os requisitos que permitem atingir ou exceder as metas de confiabilidade de uma determinada aplicação. Toda avaliação deve levar em conta a integridade do material de moldagem do encapsulamento.

A seguir são abordados alguns fatores significativos que devem ser considerados na avaliação de conformidade do material encapsulante. Também está incluída uma revisão de alguns dos procedimentos e técnicas que são normalmente usados para avaliar os encapsulamentos, o processo de “screening” na seleção, a qualificação e requalificação de componentes e por último, o manuseio e a armazenagem dos MEPs.

5.1 – Avaliação dos materiais compostos de moldagem

A integridade do material de moldagem é um aspecto vital da confiabilidade final do MEP. Dependendo do projeto de empacotamento há uma grande quantidade de análises, ensaios, e técnicas de caracterização * que podem ser utilizadas para garantir que o material de moldagem seja de alta integridade. (São aqui mencionadas, mas não descritas em detalhes).

Na maioria das vezes, as principais propriedades dos materiais de moldagem de interesse, podem ser obtidas através dos fornecedores dos MEPs. Esta informação inclui uma lista de propriedades físicas tais como CET, Tg (temperatura de transição vítrea), módulo de flexão, tensão de flexão, estresse térmico, condutividade térmica, resistividade volumétrica e conteúdo de impureza dos íons hidrolisáveis, i. e. aqueles íons que reagem com a umidade para formar substâncias potencialmente perigosas. Frequentemente o fabricante do MEP realiza ensaios independentes para confirmar esses dados e se certificar de que o material de moldagem é compatível com o seu processo e atende todos os seus requisitos.

Em algumas aplicações, o usuário do MEP precisará ensaiar os materiais de moldagem para garantir que as suas propriedades são consistentes com a aplicação.

Por exemplo, poderá ser necessário, medir as características de degasagem do material, para certas aplicações espaciais, envolvendo instrumentos sensíveis a contaminação. A ASTM (American Society of Testing Materials) dispõe de normas e procedimentos para esses ensaios. Algumas dessas normas e procedimentos são mostradas na Tabela 5.1.

5.2 – Avaliação dos empacotamentos dos MEPs

Como mencionado anteriormente, defeitos nos encapsulamentos plásticos dos dispositivos microcircuitos eletrônicos podem levar as falhas prematuras. Por exemplo, a delaminação junto aos terminais e as trincas nos encapsulamentos possibilitam a penetração da umidade e da contaminação no dispositivo. A delaminação do encapsulamento da pastilha pode danificar a metalização da pastilha e dos “ball bonds”. Pastilha fixa fracamente, vazios no encapsulamento e separações podem causar dissipação de calor não uniforme ou produzir pontos quentes. Além disso, os defeitos que podem, no início, ser pequenos, inacessíveis de fora do encapsulamento, podem aumentar ou migrar durante a vida do MEP.

Tabela 5.1- Técnicas disponíveis para avaliar propriedades de materiais compostos de moldagem.

Fonte: ASTM, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002

PROPRIEDADES	CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES	TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO
Coefficiente de Expansão Térmica	Afeta a tensão de encolhimento	ASTM-D-696
Propriedades de flexão	Afeta tensão sob estresse mecânico	ASTM-D-790
Íons hidrolizáveis	Combina com a água para formar compostos corrosivos	Íon cromatográfico

continua

Tabela 5.1- continuação

PROPRIEDADES	CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES	TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO
Comprimento da espiral do fluxo	Avalia as características do encapsulante derretido; importante para a caracterização do processo	ASTM-D-3123
Temperatura de transição do vidro	Indica a habilidade de suportar altas temperaturas sem deformação	ASTM-D-648
Resistência química	Avalia a habilidade de suportar exposição a reagentes químicos; importante para caracterização * do material	ASTM-D-543
Degasagem	Avalia conteúdo volátil sob vácuo; materiais voláteis são contaminantes potencialmente danosos em ambiente espaciais	ASTM-E-595
Resistividade volumétrica	Avalia a habilidade em prover isolamento elétrico	ASTM-D-257

Existem várias técnicas e procedimentos de avaliação que são usados para identificar defeitos dentro dos encapsulamentos dos MEPs.

A apresentação a seguir está limitada a um certo número de técnicas que são mais utilizadas atualmente.

5.2.1 Líquido penetrante/micro-secção

O ensaio de líquido penetrante pode ser usado em conjunto com a técnica de micro-secção do encapsulante para os ensaios de delaminação e de resistência a umidade do material de moldagem. Este procedimento envolve imersão da amostra em banho pressurizado de líquido penetrante de viscosidade extremamente baixa. (Um líquido fluorescente ou colorido não fluorescente pode ser usado). Se existirem defeitos tais como vazios, delaminações, etc. e se esses defeitos forem perceptíveis de fora do encapsulamento, então o líquido será forçado a atravessar esses defeitos. Após exposição ao líquido pressurizado, a amostra é removida e limpa. O encapsulamento é a seguir seccionado e inspecionado quanto a qualquer presença do líquido. (Uma fonte de luz ultravioleta é necessária se o líquido fluorescente for empregado).

Essa técnica revelará se existe algum defeito no encapsulante e se existir qual a sua extensão. O que se pretende é saber se a construção do empacotamento moldado é vulnerável à penetração de umidade. As desvantagens desse procedimento são:

- é destrutivo,
- é demorado,
- não detecta defeitos internos,
- não há método de ensaio militar ou industrial aplicável para este procedimento.

5.2.2 Métodos de microscopia acústica

Dois métodos de microscopia acústica são normalmente usados para examinar os MEPs:

- SLAM (Scanning Laser Acoustic Microscopy) Microscopia Acústica de Varredura à Laser,
- C-SAM (C-MODE Scanning Acoustic Microscopy C-SAM) Microscopia Acústica de Varredura de Modo C.

O SLAM é o tipo de transmissão transversal de microscopia de onda acústica que opera em frequência na faixa de 10 a 100 MHz. A amostra é exposta a uma onda plana contínua de ultra-som na sua parte inferior (Figura 5.1). Esta onda de ultra-som viaja através da camada do material ou do componente. O ultra-som que alcança a parte superior é detectado por um feixe de raio laser de varredura e é imageada em tempo real. Por causa do ultra-som de alta frequência não poder viajar através do ar, defeitos, tais como, vazios, delaminações e trincas, são detectados e visíveis na imagem acústica.

A Figura 5.2 mostra as micrografias acústicas SLAM dos MEPs obtidas em 10 MHz com e sem defeito. Em cada caso o brilho das imagens corresponde ao nível de transmissão da onda acústica. A Figura 5.2b, mostra que o material de moldagem apresenta delaminação na área do suporte da pastilha. As áreas de delaminação entre o material de moldagem e o “lead-frame” são também mostradas. (Sandor, 1997)

O C-SAM é um microscópio do tipo modo de reflexão e utiliza transdutores especiais de pulso-eco de alta frequência que também opera em frequência de 10 a 100 MHz (Figuras 5.3 e 5.4). Neste sistema, o transdutor transmite e recebe alternadamente o ultra-som. Um dispositivo mecânico de varredura rapidamente move o transdutor sobre o espécime e produz uma imagem. Do mesmo modo que acontece com o SLAM, a onda de ultra-som não viaja através do ar, qualquer defeito que aparece como vazio, é visível na imagem final. Uma característica importante do C-SAM é a capacidade de focalização em qualquer profundidade, de modo que todo o encapsulamento do MEP pode ser examinado numa única imagem ao mesmo tempo.

Com o C-SAM, vários modos de imagem podem ser usados para enfatizar características e defeitos estruturais particulares. A varredura em modo C pode ser usada para produzir imagens isoladas da região de interesse particular, tal como a superfície da pastilha. A varredura tipo “Bulk” pode ser usado para focalizar nas interfaces internas do material; a textura do material, a não homogeneidade e os

vazios são detectáveis. A varredura do tipo “Time-of-Flight” * (TOF) se centraliza nos tempos de chegada dos ecos e é útil para caracterizar trincas nos plásticos.

O desenvolvimento mais recente em C-SAM é o modo de análise quantitativo de varredura B (Q-BAM). Nesse modo, após uma característica anômala ter sido detectada, o operador pode colocar a imagem da seção exatamente no centro do alvo e a imagem resultante mostrará ambas as visões, planar e seção, em relação a cada um deles. Além disso, os indicadores de profundidade de escala tornam possível fazer medidas tridimensionais da anomalia.

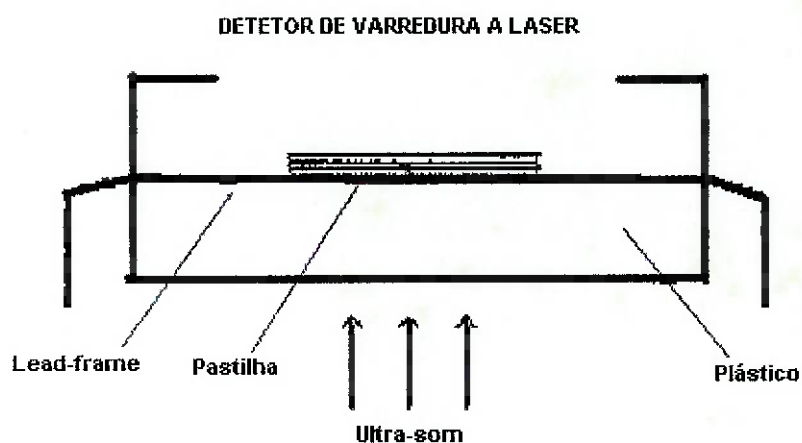


Figura. 5.1- Inspeção do tipo SLAM feito no MEP

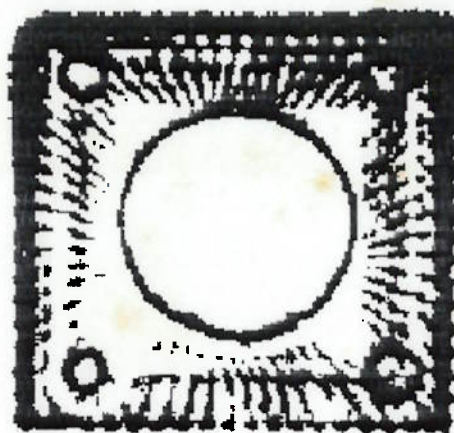


Figura 5.2 a- Imagem acústica do tipo SLAM de um “Plastic Leaded Chip Carrier” (PLCC) sem defeitos na adesão do material de moldagem. (Semmens, 1988)

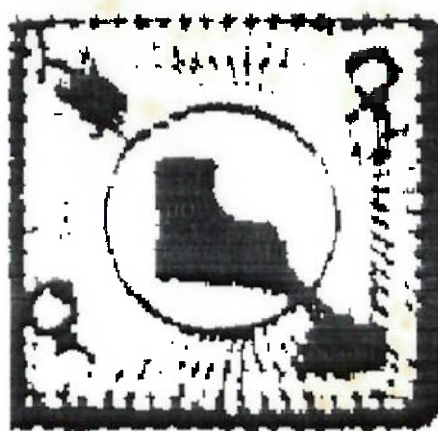


Figura 5.2b- Imagem acústica do tipo SLAM de um PLCC com defeito (Semmens, 1988)

NOTA: Similar ao da Figura 5.2a, mas com defeitos que aparecem em escuro na área central que cobrem cerca de 75% da área do suporte da pastilha.

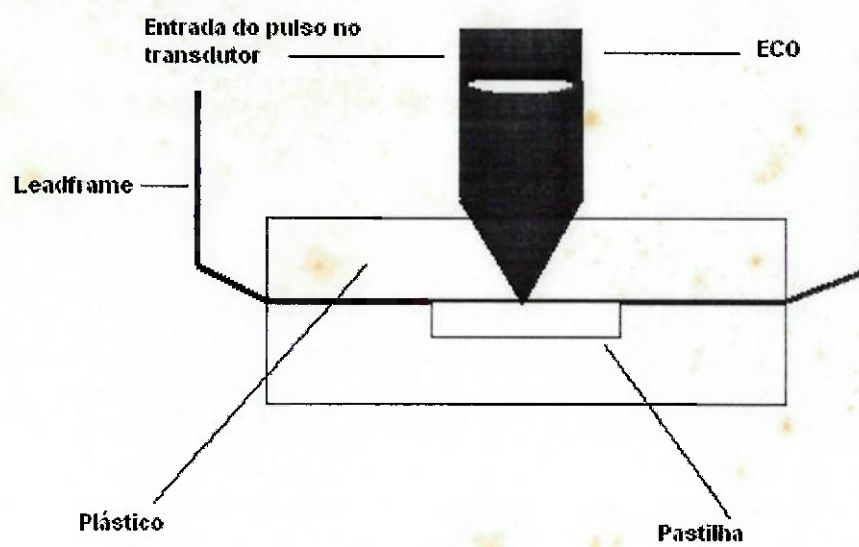


Figura 5.3- Inspeção do tipo C-SAM do MEP (o componente está invertido) (Baluck et al., 1995)

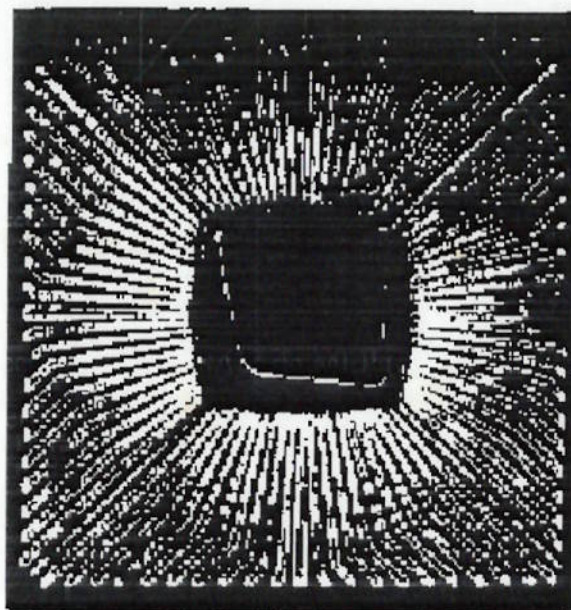


Figura 5.4 -Imagem acústica do tipo C-SLAM de um PLCC (Baluck et al., 1995)

NOTA: A região escura dentro do limite claro no centro é onde ocorreu boa adesão entre o plástico e o “lead-frame” metálico; região escura externa do limite claro é onde a delaminação do plástico ocorreu. Estas regiões são realçadas por diferentes cores na imagem original.

A microscopia acústica é vantajosa porque é não destrutiva e fácil de aprender. Pode ser usada para um “screening” de 100%, se necessário. Entretanto, ainda não é recomendada, porque um critério claro de rejeição, ainda não foi desenvolvido para vazios e/ou trincas, particularmente na vizinhança dos terminais ou do suporte da pastilha.

A microscopia acústica oferece dados em tempo real e de realimentação que podem ser de grande ajuda para o processo de melhoria. Pode, também ser usada, como um processo auxiliar e reproduzível nos levantamentos de confiabilidade na detecção de aumento de defeitos.

As desvantagens incluem interpretações que dependem do operador, requerem um meio líquido para a transferência da energia acústica e limitação na detecção de defeitos dos tipos, vazios, separações e grandes trincas.

5.2.3 Análise física destrutiva

A análise física destrutiva, DPA, tem sido uma técnica muito utilizada para avaliar microcircuitos herméticos. É um processo de desmontagem, de ensaio e de inspeção de dispositivo com o propósito de verificar conformidade com o projeto e os requisitos de processo. O método de ensaio 5009 da MIL-STD-883 (Department of Defense, 1996) foi desenvolvido para descrever requisitos para o DPA de dispositivos selados hermeticamente. Os ensaios e inspeções tradicionais estabelecidas na 5009 são apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2- Método de Ensaio 5009 da MIL-STD-883

Inspeção Externa Visual
Radiografia
Hermeticidade
Conteúdo Interno de Vapor D'água
Inspeção Visual Interna
Tensão de Ligação
Cisalhamento da pastilha
Inspeção de Metalização com SEM

O DPA é também importante na avaliação do dispositivo encapsulado em plástico e é considerado necessário para aqueles componentes a serem usados em aplicações de alta confiabilidade.

Este ensaio permite verificar a qualidade da mão de obra empregada e a conformidade com toda documentação de referência e outros requisitos pertinentes. O DPA pode auxiliar ainda, na verificação do atendimento dos requisitos de

fabricação e dos controles de processo. Pode também servir como informação importante, para qualquer atividade de análise de falha posterior.

Apesar da existência do método de ensaio 5009 da MIL-STD-883, desenvolvido para os dispositivos herméticos contendo cavidades internas, ele não é empregado diretamente nos MEPs. Alguns dos requisitos, assim como as inspeções internas e externas requerem modificações antes de serem usados nos MEPs. Critério de aceitação deve ser estabelecido e defeitos específicos no encapsulamento devem estar claramente definidos.

A Tabela 5.3 apresenta uma lista de ensaios e inspeções de DPA sugeridos para os MEPS. A seguir, é apresentada uma breve descrição, para cada um deles, com ênfase nas modificações, focalizando nas características, onde são específicos para os MEPs.

Tabela 5.3- Método de DPA sugeridos para os MEPs

a. Inspeção Visual Externa
b. Radiografia
c. Microscopia Acústica
d. Absorção de umidade
e. Conteúdo de umidade
f. Análise da construção do empacotamento
g. Tensão de ligação
h. Cisalhamento da pastilha
i. Inspeção visual interna
j. Inspeção da metalização c/ SEM

5.2.3.1 Inspeção visual externa

Os MEPs utilizam um empacotamento sólido moldado e por esta razão, novos critérios de inspeção devem ser desenvolvidos, com ênfase na integridade do material de moldagem. Critério de rejeição deve ser estabelecido para inspeção de trincas e vazios no encapsulamento. A inspeção visual deve se preocupar com a coplanaridade dos terminais e o empenamento do empacotamento.

5.2.3.2 Radiografia

A radiografia é útil na detecção de incrustações no material de moldagem e nos exames de posicionamento da pastilha, do “lead-frame” e dos fios de interconexões dentro do empacotamento. Neste caso, também, deve ser estabelecido um critério adequado de rejeição.

5.2.3.3 Microscopia acústica

Esta inspeção, se usada adequadamente, pode ser utilizada para se detectar defeitos importantes, tais como delaminações entre o material de moldagem e suas interfaces. Entretanto, como observado anteriormente, existem múltiplas técnicas disponíveis e freqüentemente os resultados estão sujeitos a uma ampla interpretação pelo examinador. É necessário desenvolver um critério claro de rejeição, adequada a uma ampla faixa de tipos de empacotamento para os MEPs.

5.2.3.4 Absorção de umidade

Os materiais de moldagem são classificados, baseados nas suas taxas de absorção. Esta classificação é importante na avaliação da integridade do empacotamento do MEP.

Procedimentos incluindo condições de exposição de umidade e métodos padrões para medida de absorção de umidade devem ser desenvolvidos, p. ex. % em ganho de peso.

5.2.3.5 Conteúdo de umidade

É importante avaliar o conteúdo de umidade existente nas amostras de DPA dos MEPs. Esta avaliação poderá indicar se os métodos de embalagens empregados no transporte e na armazenagem dos componentes no fabricante ou no distribuidor são realmente efetivos na prevenção de absorção de umidade.

5.2.3.6 Análise da fabricação do empacotamento

A análise da fabricação do empacotamento é necessária a fim de se compreender e avaliar o projeto global do fabricante do MEP, identificando os materiais usados e avaliando as características específicas de construção. Procedimentos e características específicas precisam ser estabelecidos para se tornarem o foco da inspeção. Alguns exemplos são; a quantidade de espaço vazio do suporte da pastilha, os comprimentos dos fios de conexão, a espessura, a uniformidade e a adesão do material de moldagem; rebarbas e bordas salientes no “lead-frame” etc.

5.2.3.7 Tensão de ligação e de cisalhamento da pastilha

De modo geral, é interessante avaliar as tensões dessas características nos MEPs, exatamente como se fazem para os herméticos, microcircuitos contendo cavidade. No entanto, pode ser difícil expor completamente a pastilha e todos os fios de ligação, sem introduzir danos ou enfraquecimento na fixação da pastilha ou de suas ligações. Procedimentos adequados de remoção do material de moldagem devem ser desenvolvidos.

5.2.3.8 Inspeção visual interna e inspeções S.E.M.

Essas inspeções são igualmente necessárias, tanto em MEPs, quanto nos componentes herméticos. Novamente, a importância de métodos que não causem danos, para remover encapsulantes precisam ser enfatizados. Além disso, novos critérios de rejeição terão de ser desenvolvidos para detectar defeitos e outros problemas que são específicos aos MEPs. Por exemplo, o efeito “wire-sweep” dos fios de conexão, deve ser considerado e novos critérios devem ser desenvolvidos

para defeitos da metalização da pastilha potencialmente danosos, tais como deformações causadas pelo encolhimento do material de moldagem.

5.2.4 Remoção do encapsulamento

Como já mencionado, um grande desafio relacionado ao DPA dos MEPs é o desenvolvimento de um procedimento padrão aceitável para remoção dos encapsulantes plásticos. Vários procedimentos têm sido desenvolvidos para remoção do encapsulamento dos MEPs e esses procedimentos são normalmente praticados por muitos laboratórios independentes de ensaios e usuários de MEPs. Na maioria deles sempre está envolvido o uso de material químico perigoso. Um exemplo está descrito a seguir.

A localização exata da pastilha dentro do empacotamento é encontrada através de desenhos do fabricante, de inspeção radiográfica e ainda removendo-se, parcialmente, o empacotamento moldado,. Usando uma máquina de furar e uma broca de ponta reta de diamante, é feito um furo no topo do empacotamento, exatamente em cima onde está localizado a pastilha. Este furo tem exatamente uma profundidade suficiente para que não haja contato entre a broca e a superfície da pastilha com as conexões. A amostra é colocada sobre um “hot plate” (placa aquecida) com temperatura de aproximadamente de 140° a 170° C. Uma ou duas gotas de ácido nítrico ou ácido sulfúrico são adicionadas no furo no empacotamento para começar a dissolver o encapsulante plástico. Após um tempo suficiente, o componente é removido do “hot plate”, enxaguado com um agente adequado, e seco, usando ar ou nitrogênio. Este procedimento é repetido até que o encapsulante seja totalmente removido, permitindo que a pastilha fique exposta, como também, a sua colagem no pedestal e as suas conexões de fios/ “wire-bondings”. Neste estágio, a inspeção visual interna, inspeção SEM, ensaio de “bond pull testing”, cisalhamento da pastilha, etc., podem ser concluídas.

Independentemente da técnica utilizada, em geral, o DPA é uma técnica bastante laboriosa e cara. Frequentemente requer uma capela, o uso e manuseio cuidadoso de produtos químicos perigosos.

Equipamentos especiais tais como, furadeiras leves (com rotações do motor de pelo menos 4000 rpm) e brocas de ponta reta de diamante podem ser necessárias. O analista de DPA deve ter uma capacitação especial e deve ser treinado para reconhecer diferenças importantes nas características de fabricação de uma variedade de tipos de empacotamento de MEP. Por exemplo, muitos empacotamentos de MEP, utilizam uma camada extremamente fina de encapsulamento plástico e o maior cuidado deve ser exercido durante a remoção desse plástico para se evitar dano a pastilha e/ou aos fios de conexão. Também é importante para o analista ser capaz de diferenciar com segurança, os defeitos propriamente do MEP, daqueles introduzidos, não intencionalmente, durante o processo de remoção do encapsulamento.

5.3 – Uso de ensaio de fadiga altamente acelerado com temperatura e umidade como ferramenta de diagnóstico (HAST)

HAST, que será mais adiante também referido como “Qualificação” é um tipo de ensaio extremamente “severo”, que pode ser usado para caracterizar a capacidade do empacotamento do MEP de se submeter ao ingresso de umidade sob condições de estresse altamente acelerado.

Estresses incluem alta temperatura, alta umidade, polarização elétrica e em algumas situações alta pressão de vapor. A norma JEDEC-22, Método de Ensaio A110 (JEDEC, 1999), descreve em detalhe uma quantidade de variações de HAST que pode ser usada como “benchmark”. As durações dos ensaios das normas JEDEC aplicáveis se estendem de 25 a 200 horas.

HAST é um ensaio motivo de controvérsias. Alguns acreditam que os resultados do HAST podem ser precisamente usados para predizer a confiabilidade, identificando mecanismos de falha, determinando energias de ativação associadas e desenvolvendo fatores de aceleração. Outros dizem que não se pode estabelecer correlação com a confiabilidade. Independentemente desses pontos de vistas opostos, é normalmente aceito que o HAST possa ser usado para identificar as fraquezas dos

MEPs e possibilitar a graduação de diferentes produtos com a relação à resistência à umidade.

Para exemplificar, o HAST pode prosseguir até que a maioria da população sob ensaio falhe. (Sabendo-se que todos os MEPs absorvem umidade, pode ser assumido, seguramente que todos os dispositivos definitivamente falharão dado um tempo suficiente de exposição em ambiente altamente úmido). Em geral, quanto maior o tempo que levar para a maioria da população falhar, maior é a integridade do material e melhor a fabricação do empacotamento e finalmente melhor a resistência do MEP ao ingresso de umidade. A maioria dos fabricantes dos MEPs emprega algum nível de HAST em seus produtos. É normal para lotes de MEP bem construídos, passar mais de 1000 horas em condições severas de HAST sem falhas.

5.4 – Importância do pré-condicionamento como ferramenta de diagnóstico

O pré-condicionamento refere-se a uma simulação de montagem de placas contendo MEPs. O pré-condicionamento é descrito mais adiante, no Capítulo 12, como parte essencial do ensaio de qualificação do MEP. Pode também ser usado como uma ferramenta de diagnóstico para avaliar a habilidade do MEP em suportar os rigores de uma montagem de placa (p. ex. montagem superficial).

Na avaliação dos seus próprios produtos, o fabricante de MEP deve desenvolver o fluxograma de pré-condicionamento para o pior caso, incluindo todos os estresses mecânicos e térmicos e ainda expor a agentes químicos esperados durante a pré-formação dos terminais, estanhagem, soldagem (incluindo a exposição a fluxos) e operações de limpeza. O usuário de MEP deve padronizar o fluxograma de pré-condicionamento quando estiver avaliando ou qualificando o produto, após manuseio e operações de montagem de placa que ele pretende usar.

Os equipamentos devem incluir uma câmara úmida capaz de operar em várias combinações de temperatura (+30° a +85° C) e umidade relativa (60% a 80%) com tolerância de temperatura de $\pm 2^\circ$ C e uma tolerância de umidade relativa de $\pm 4\%$, equipamento de soldagem por refusão, microscópio ótico (10 a 40x de potência) para

inspeção visual externa, equipamento de ensaio elétrico capaz de realizar ensaios paramétricos e funcionais e um forno de “baking” capaz de operar em + 125° C.

O pré-condicionamento é importante, porque a exposição à estresses térmicos e mecânicos e a agentes químicos (possíveis fontes de contaminação corrosiva) e, ainda, em combinação com efeitos posteriores do ensaio de umidade, pode acelerar ou precipitar falhas que de outro modo não ocorreriam. Por exemplo, trincas ou delaminações do empacotamento podem ser iniciadas e estes podem acelerar a taxa de ingresso de umidade e/ou contaminantes no empacotamento. O pré-condicionamento é um método prático pelo qual os efeitos da montagem da placa podem ser usados, para propósitos de avaliação ou qualificação dos MEPs.

5.5 - Screening

O “screening” é um processo no qual segrega-se um produto defeituoso antes que ele seja usado na sua aplicação final. Quando adequadamente projetado e implementado, o “screening” não somente expõe a mortalidade infantil do produto (falhas precoces), mas também, identifica dispositivos com defeitos latentes que poderão levar a falhas prematuras. O termo “screening” é mantido neste trabalho para diferenciar os dispositivos que são submetidos ao processo de “screening”.

5.5.1 – Avaliando a necessidade de “screening”

O usuário do MEP deve primeiro avaliar o histórico do fabricante, quanto à qualidade e à confiabilidade no fornecimento de seus produtos a fim de se determinar o nível de “screening” necessário.

Uma investigação deve ser realizada para se determinar se o fabricante usa um projeto maduro e robusto e se possui um processo de produção bem controlado, reprodutível e com monitoramento efetivo no local.

O nível de rejeição nos resultados de seus produtos deve ser estabelecido. Os resultados dessa investigação devem ser levados em consideração com relação aos requisitos da aplicação pretendida. Pouco ou nenhum “screening” será necessário se os dados obtidos forem suficientes para se demonstrar que o fabricante tem

incorporado um nível suficientemente alto de qualidade e confiabilidade em seus produtos, representado por níveis de rejeição de fabricação e de serviço, consistentemente abaixo do nível (ppm) desejado. Se não for encontrada evidência de um processo produtivo robusto, reproduzível com baixa taxa de falha, neste caso será necessário realizar 100% de “screening” para todos os MEPs. Este “screening” terá de ser adaptado, adequadamente, para detectar aqueles defeitos que poderiam impedir a operação bem sucedida do componente durante o seu uso.

O “screening” é pouco efetivo quando o fabricante de MEP demonstra níveis de saída de defeitos (AOQs) na faixa de 100 a 500 ppm ou menores (muitos fabricantes de MEP, já estão dentro dessa faixa). Isto se deve ao fato que o “screening” em si, prejudica o resultado final, tornando-se um fator significativo, produzindo maiores níveis de defeitos. A norma JESD16-A (JEDEC, 1995) estabelece métodos para estimação da média dos níveis de qualidade (AOQs) de um determinado produto.

5.5.2 – Desenvolvimento de um procedimento adequado de “screening”

Sendo o “screening” necessário, um procedimento adequado de “screening” deve ser desenvolvido. A seguir, são apresentados os fatores que precisam ser considerados pelo usuário de MEP.

Ensaio e inspeções devem ser projetados e adequados a fim de se detectar defeitos específicos. O usuário deve compreender a diferença entre “screenings” estressantes e não estressantes. Deve usar os estressantes, somente quando requeridos, sem danificar ou degradar os MEPs. Os “screenings” não estressantes são inspeções visuais, inspeções radiográficas, microscopia acústica e ensaios elétricos. Outros “screenings”, tais como ciclagem térmica, armazenagem em alta temperatura e “burn-in”, intencionalmente introduzem estresses. Esses ensaios devem submeter os componentes às cargas térmicas, mecânicas e elétricas suficientes, quando aplicável, para precipitar falhas em componentes defeituosos. Se tais “screenings” impõem níveis excessivos de estresse por um longo tempo, conseqüentemente,

podem tornar-se improdutivos; podem ativar mecanismos de falha devido ao uso, podendo causar falhas em produto aceitável ou podem reduzir sua vida útil a níveis insatisfatórios.

Portanto, o dano potencial resultado do “screening”, deve ser levado em consideração, quando se desenvolve um programa de “screening”.

Deve-se, em seguida, avaliar o custo global do sistema que usará na sua aplicação. Vários fatores devem ser considerados. Inicialmente, o usuário deve entender e priorizar as categorias de defeito que ele está tentando detectar. Em seguida, deve considerar a complexidade do sistema, o seu grau de dificuldade e o custo associado com os ensaios para descobrir componentes defeituosos e substituí-los.

Nas aplicações espaciais, deve-se considerar o custo de uma falha detectada nas fases finais do programa. Por exemplo, uma falha pode ocorrer após o sistema ter sido montado, integrado, ensaiado e pronto para lançamento. Neste caso, os recursos financeiros gastos são altos e o custo total associado com a falha, freqüentemente, torna-se extremamente grande.

Após pesar todos esses fatores, o objetivo final deve ser o desenvolvimento de um procedimento de seleção que inclua uma seqüência otimizada de ensaios, fornecendo uma melhoria da qualidade, com valor agregado que atenda as necessidades da aplicação, diminuindo o risco de ocorrência de falhas a níveis aceitáveis.

O custo do “screening” nos MEPs pode ser muito caro. Os “screenings” exaustivos podem tornar o custo de um MEP igual ou superior ao custo de um componente hermético; isto pode anular qualquer vantagem nos custos de aquisição.

5.5.3 – Métodos de “screening” e defeitos que podem provocar

Diferentes métodos de “screening” estão disponíveis para se detectar defeitos específicos que podem causar falhas precoces nos MEPs. Um desses métodos é apresentado na Tabela 5.4. São apresentados para se mostrar a variedade de tipos de “screening” disponível. É preciso selecionar os métodos necessários e apropriados para uma aplicação específica.

Muitos dos métodos de ensaio estabelecidos para os MEPs são idênticos aos métodos de ensaio da MIL-STD-883 (DOD, 1996), normalmente usados para selecionar dispositivos de alta confiabilidade, selados hermeticamente.

Entretanto, muitas vezes, os tipos de defeitos que estes ensaios são pretendidos detectar, são muito diferentes para os MEPs.

Os defeitos que podem ser detectados por “screening”, estão também listados na Tabela 5.4 e estão apenas os mais representativos. Além disso, pode haver limitações associadas com algum dos “screenings”. Comentários adicionais referentes a esses métodos de ensaio de “screening” são dados a seguir.

Tabela 5.4- Método de “screening” e defeitos que podem ser detectados

Fonte: Department of Defense, (1996) e JEDEC, (1999)

SCREEN	MÉTODO	DEFEITOS	COMENTÁRIOS*	LIMITAÇÕES
Pré-encapsulamento com Inspeção visual	MIL-STD-883 TM 2010 Condição B	Terminais e “lead-frame” desalinhados, defeitos na passivação, pastilha desalinhada, defeitos de fixação, trincas ou pastilha quebrada.	Critérios de aceitação/rejeição devem ser estabelecido para defeitos específicos para MEPs	Os métodos de ensaio da MIL-STD-883 não especificam os critérios para alinhamento de “lead-frame” e para fixação de pastilha no suporte antes do encapsulamento.
Medidas Elétricas iniciais	Ensaio paramétricos funcionais ou DC e AC dinâmicos ; -55C, 25C e 125C ou pela especificação do componente	Dispositivo não funciona	Ensaio do tipo GO/NO-GO são aceitáveis	
Microscopia acústica	MIL-STD-883 TM 2030	Vazios e inclusões no encapsulante e, deslocamento do suporte da pastilha, o efeito do “wire-sweep” do “wire bonding”, pastilha trincada, trincas na interface, delaminações, fixação deficiente da pastilha	Geralmente gaps de 1,5 u podem ser detectados	O TM cobre inspeção para fixação da pastilha somente; não cobre outros defeitos tais como vazios, delaminações, deslocamentos de suportes da pastilha etc.

continua

Tabela 5.4- continuação

SCREEN	MÉTODO	DEFEITOS	COMENTÁRIOS*	LIMITAÇÕES
Armazena- mento em alta temperatur a	MIL-STD-883 TM 1008; JEDEC 22- A103	Desvio de parâmetros, defeitos de metalização, instabilidade elétrica, defeitos no bloco de silício, corrosão	Screen altamente desejado e de baixo custo sem estressar eletricamente o componente	MIL-STD-883 não trata de estresse mecânico causado por material encapsulante em alta temperatura.
"Burn-in" *	MIL-STD-883 TM 1015 condição A ou D, "burn-in" * estático ou dinâmico em 125C	Levantamento da ligação, migração metálica, vazamento na junção, curtos de alta impedância, circuitos abertos dos fios de ligação	"Burn-in" * dinâmico será aplicado ao componente digital e "burn-in" * estático será aplicado em componentes lineares; este ensaio pode ser substituído com controle estatístico de processo baseado no desempenho do produto	Primariamente descobertas de mecanismos de falha dependem de operações em alta temperatura
Medidas elétricas pós "burn- in" *	Ensaio funcionais e paramétricos DC e AC; - 55C, 25C e 125C	Desvios paramétricos pós "burn-in" *	Calcular deltas e PDA para aceitação pela MIL-STD-883	
Ciclagem de temperatur a	MIL-STD-883 TM 1010 Condição B, 40 ciclos -55C a 125C	Pastilha trincada, trinca em encapsulamento, delaminação nas interfaces, levantamento dos fios	Nenhuma potência é aplicada durante o ensaio	MIL-STD-883 não leva em consideração defeitos em plásticos

continua

Tabela 5.4- continuação

SCREEN	MÉTODO	DEFEITOS	COMENTÁRIOS*	LIMITAÇÕES
Inspeção visual externa	MIL-STD-883 TM 2009; JEDEC 22-B100	Dimensões físicas, dano físico, trinca, deterioração do package, oxidação, entortamento dos terminais, legibilidade da marcação do componente, falta de co-planicidade.	Uso de pelo menos 15X de magnitude; critério de aceitação/rejeição deve ser estabelecido para defeitos específicos para MEPs	MIL-STD-883 não especifica critérios de aceitação/rejeição para componentes em plásticos.
Inspeção radiográfica	MIL-STD-883 TM 2012	Conexões dos terminais quebradas, terminais trincados, metais estranhos, erros grosseiros de fabricação	Opcional	Nenhum critério de aceitação/rejeição relacionado a construção do MEP

* A prática comercial é ensaiar uma amostra para verificar o “yield” (relação de quantidade aceitáveis de itens produzidos num lote de produção para o total de produção do mesmo item).

O “screening” inicial e a inspeção visual de pré-encapsulamento podem ser usados para se detectar uma ampla faixa de defeitos potencialmente danosos, além daqueles listados na Tabela 5.1. Aqueles na Tabela incluem, mas não estão limitados à adesão fraca da pastilha, defeitos dos “wire-bondings”, tais como descolamentos, formatos e localização inadequados de colagem, ou formação de crateras nos “bondpads”, defeitos nos fios de conexão, tais como cortes e incisões, fios cruzando ou separações inadequadas entre os fios, orientação incorreta da pastilha no seu

suporte, rebarbas ou bordas acentuadas no suporte da pastilha, no “lead-frame” e depressões, trincas ou outros defeitos de metalização no “lead-frame”.

Muitos desses defeitos não são previstos no método de ensaio 2010 da MIL-STD-883 (Department of Defense, 1996); portanto, até que este método seja modificado adequadamente e usado para os MEPs, defeitos específicos e critério apropriado de aceitação/rejeição terão de ser especificados pelo usuário do MEP. (Também é válida para inspeção visual externa, coberta pelo método de ensaio 2009 da MIL-STD-883) (Department of Defense, 1996).

As inspeções microscópicas detalhadas são tediosas e cansativas e a maior parte dos fabricantes de MEPs não concordam em fazê-los 100%. (Inclusive alguns fabricantes não concordam com esses ensaios). Além disso, mesmo que o fabricante realize, por amostragem, a inspeção visual do encapsulamento, provavelmente não será permitida a participação do usuário nesta inspeção, porque isto prejudicaria o andamento da produção. Portanto, é recomendado que se adquira um lote controlado de MEP e imponha, ainda, uma inspeção visual de pré-encapsulamento como requisito, sabendo-se que é difícil impor esse requisito para aquisição de pequenos lotes. Esta inspeção não sendo realizada, torna-se importante realizar um DPA.

A microscopia acústica é uma técnica raramente utilizada durante “screening” de componentes herméticos. Pode ser vantajosa, especialmente em detectar vazios, trincas e delaminações em MEPs. No entanto, como descrito anteriormente, nenhum critério de rejeição de defeito foi até agora desenvolvido para ser aplicado em plásticos. O método de ensaio 2030 da MIL-STD-883 (Department of Defense, 1996) ilustra este fato, para o tratamento de defeitos está incompleto.

A armazenagem em alta temperatura é um “screening” de baixo custo, altamente desejável para os MEPs. Além daqueles defeitos listados na Tabela 5.1, este ensaio pode produzir falhas de ligação em fios ou em conexões devido ao estresse térmico ou pode ainda, acelerar falhas devido a formações intermetálicas em locais de fixação de fios.

O “burn-in” pode ser efetivo mas não é realizado por quase 100% dos fabricantes de MEPs. Se o usuário de MEP estabelece que o “burn-in” é necessário para sua aplicação, é preciso que primeiro ele determine qual (e que plano de amostragem) foi implementado anteriormente pelo fabricante. A partir daí, poderá desenvolver um “screening” apropriado que possa ser realizado independentemente.

A quantidade de ciclos de temperatura pode ser usada efetivamente para detectar uma quantidade de defeitos em MEPs. Além daqueles defeitos listados na Tabela 5.1, a quantidade de ciclos de temperatura pode também, ser usada para detectar trincas na camada de passivação e em quebra de fios de conexão. Por esta razão, pode produzir estresses significativos, desenvolvidos no interior do dispositivo. Este ensaio deve ser usado com cautela. Os extremos de temperatura e a quantidade de ciclos devem ser controlados, de tal modo a antecipar as falhas dos componentes defeituosos, sem no entanto, introduzir mecanismos relacionados à fadiga.

A inspeção radiológica dos MEPs pode também ser usada para identificar uma quantidade de defeitos em MEPs. Esses defeitos incluem, mas não estão limitados ao movimento do fio de conexão, ao deslocamento do pedestal da pastilha, ao material estranho dentro do empacotamento, a perda de componentes internos, aos vazios na fixação e nas trincas da pastilha.

O “Particle Impact Noise Detection” (PIND), detector de ruído de impacto de partículas, não está incluído na lista de “screening” de MEPs, porque com este ensaio, pretende-se detectar partículas soltas dentro das cavidades internas. Os MEPs não possuem estas cavidades, portanto, não existe esse tipo de preocupação.

5.6 – Qualificação

A qualificação é um processo pelo qual pretende-se estabelecer se um produto ou uma tecnologia é capaz de atender os requisitos de uma aplicação. Seu propósito é demonstrar que o projeto, os materiais e os processos de fabricação são adequados para assegurar uma operação bem sucedida durante toda a vida esperada em serviço. A qualificação deve determinar a taxa de falha, a vida operacional esperada de um produto, a sua resposta às condições ambientais e a frequência de lotes não conformes.

A qualificação quando realizada para um único lote, representa somente uma medida parcial da capacidade do fabricante de produzir um determinado produto. Portanto, os ensaios de qualificação devem ser implementados sobre um número suficiente de lotes para extrair taxas de falha confiáveis. A qualificação deve ser resultado de procedimento de ensaio, de avaliação, de análise crítica de dados e de realimentação de projeto e processo.

Ao qualificar os MEPs para aplicação em satélites, deve se ter em mente as seguintes preocupações:

- Resistência à umidade do empacotamento,
- Características operacionais do dispositivo em toda faixa de temperatura,
- Vida do dispositivo sob condições de alta temperatura e alimentação elétrica,
- Capacidade do empacotamento moldado de suportar choques térmicos e outros estresses termo-mecânicos,
- Integridade das estruturas internas críticas (tais como fixação da pastilha, “wire-bondings”),
- Soldabilidade dos terminais,
- Integridades dos terminais,
- Capacidade de um dispositivo suportar montagem e condições de retrabalho (pré-condicionamento),

- Degasagem,
- Resistência à radiação
- Inflamabilidade

Dados de qualificação podem ser obtidos das seguintes fontes:

- a. Dados de ensaio do fabricante de um tipo de componente específico, empacotamento e tecnologia,
- b. Dados de aplicação de campo de uma determinada aplicação,
- c. Dados de ensaio ou de campo de um componente similar.

Cada uma dessas fontes é apresentada a seguir:

O fabricante do MEP deve ensaiar seu produto para assegurar-se que o produto servirá ao seu propósito. Para novos projetos, o fabricante deve determinar os estresses ambientais, os mais prováveis de causarem falhas. Identificar os mecanismos e os modos de falha que provavelmente produzem e desenvolvem fatores aceleradores para esses mecanismos e modos de falha. (Fatores aceleradores são normalmente usados, porque a maior parte dos MEPs têm uma vida longa sob condições normais de operação, (p.ex. em temperaturas normais) sendo necessário encurtar a vida para a falha ocorrer). O ensaio é realizado em amostras representativas do produto e os resultados são analisados e as predições de confiabilidade levantadas.

O usuário do MEP precisa analisar criteriosamente e entender os dados de confiabilidade que são publicados pelos fabricantes. Pode ser necessário ainda, comprovar os resultados do fabricante, a fim de assegurar que as predições de confiabilidade sejam ainda válidas.

Como ilustração, considere o seguinte exemplo:

Um fabricante qualificou um componente MEP de uma certa complexidade, com alta contagem de pinos, com pequena geometria, terminais muito finos e

publicou uma taxa de falha favorável. Uma amostra representativa desses componentes MEPs passou inicialmente por ensaios elétricos e em seguida foram soldados em PCIs. Essas PCIs foram expostas a extensos ensaios de ciclagem térmica. Logo no início, durante a ciclagem, um ou mais dos MEPs tiveram seus terminais fraturados externamente e foi detectado como falha funcional, devido ao circuito aberto, durante as medidas elétricas. O fabricante examinou os componentes afetados, e convenientemente concluiu que as fraturas dos terminais resultaram de uma má manipulação e substituiu os componentes. O ensaio continuou sem registrar essas falhas. Na realidade, os terminais fraturados tinham sido danificados, i. e. tinham trincas no início do processo. As tensões devidas ao manuseio normal provocaram o aumento das trincas e o enfraquecimento dos terminais; finalmente fraturaram devido às tensões da ciclagem térmica. Nesse exemplo, as falhas observadas eram importantes porque a causa primária era um defeito inicial nos terminais; essas falhas deveriam ter sido levadas em conta pelo fabricante nos seus cálculos finais de taxa de falha, mas não foram. Consequentemente, os dados de confiabilidade fornecidos pelo fabricante não são válidos.

Os ensaios de qualificação devem ser elaborados considerando que o produto poderá ser empregado em várias aplicações e condições de operação. Deve ser abrangente o suficiente para cobrir uma grande variedade de aplicação e condições operacionais e ao mesmo tempo, deve ser de carácter geral, possibilitando a redução nos custos dos ensaios. A ciclagem de temperatura e a tensão devida à temperatura, umidade e alimentação de potência (THB) são normalmente incluídas na maioria dos ensaios de qualificação dos MEPs.

Dados de aplicação no campo também são usados para fins de qualificação. Entretanto, deve se tomar cuidado na avaliação de tais dados, porque é altamente dependente da identificação e dos registros das falhas observadas (inclusive da estrita definição do que se constitui uma falha nos MEPs). Assim como, da compreensão detalhada de como o ambiente operacional e as tensões se relacionam na aplicação do usuário.

Como exemplo, considere a situação onde uma amostra estatisticamente representativa de um dado produto, tem sido usado com sucesso num ambiente operacional que envolve ciclagem de potência e de temperatura sob condições de umidade. Se as condições ambientais e elétricas, duração da operação, etc, fossem iguais ou maior que àquelas aplicações esperadas pelo usuário, e, se houvesse confiança que todas as falhas fossem propriamente identificadas e documentadas, então estes dados poderiam ser usados para qualificar o MEP. Por outro lado, se as condições anteriores de uso no campo não estivessem relacionadas à aplicação pretendida, ou se a definição do usuário e de seu sistema de rastreabilidade de falha fossem inadequados, os resultados não seriam válidos para qualificação.

Dados para qualificação podem ser obtidos de ensaios, de aplicação no campo, ou de componentes similares ao MEP a ser qualificado. Neste caso, a similaridade pode ser definida para aqueles componentes tendo a mesma tecnologia de processamento da pastilha (p.ex. CMOS de baixo consumo), a mesma complexidade da pastilha (p.ex. em dispositivos digitais, tendo aproximadamente o mesmo n° de portas ou de células lógicas), os mesmos materiais (p.ex. metalização, camadas de passivação, de proteção e de fixação da pastilha, metal base e metalização superficial do "lead-frame", material plástico de moldagem), mesmo tipo de empacotamento e mesmos processos básicos de produção. Mesmo com esses dados, é ainda aconselhável realizar pelo menos alguns ensaios no MEP real a ser qualificado.

Além de qualificar um componente específico ou um tipo de componente, o usuário pode também considerar a alternativa de qualificar a linha de produção ou o processo de fabricação do fabricante. Isto se refere a todo o processo de produção do fabricante para uma dada família de componente, incluindo a técnica de produção, os materiais, os controles e o projeto. Deve se considerar a tecnologia de fabricação do "wafer", o tamanho, a geometria da pastilha, o material de moldagem (incluindo todos os aditivos e seu efeito global sobre as propriedades dos materiais), o sistema de passivação da pastilha, a tecnologia de conexão, a tecnologia de fixação da

pastilha, a tecnologia do “lead-frame” e uso das mesmas instalações sem maiores mudanças no processamento.

Essa abordagem é empregada pelo “Defense Electronic Supply Center” (DESC), órgão do governo americano que mantém uma lista de fabricantes qualificados, “Qualified Manufacturers Listing” (QML), onde constam componentes cujas linhas de fabricação foram auditadas e certificadas. Uma vez o processo de fabricação tem sido certificado ou listado como QML, o fabricante deve atender ou melhorar continuamente o seu processo sobre o qual fora certificado. Os MEPs estão incluídos nessa lista.

Os fabricantes, também possuem e mantêm seus próprios programas internos de qualificação. Os usuários dos MEPs devem obter as informações diretamente dos fabricantes ou através do DESC referido acima.

5.6.1 – Quando a qualificação é requerida

Os ensaios de qualificação devem ser realizados pelo fabricante sempre que um novo projeto é introduzido. A qualificação também deve ser realizada pelo usuário do MEP na sua aplicação. Isto é necessário se os dados de qualificação dos fabricantes não estiver disponível para um dado tipo de componente, tecnologia e estilo de empacotamento. Também é necessária a qualificação se os dados de aplicação no campo não estiverem disponíveis, permitindo assim, uma avaliação da confiabilidade de longo prazo. Da mesma forma, se os dados de desempenho de características elétricas não estiverem disponíveis para todas as condições de uso ambiental pretendido.

Se o usuário do setor espacial optar por realizar por conta própria a qualificação, o ensaio deverá ser realizado em amostras do lote de componente de voo.

Normalmente os lotes de MEPs são grandes e a definição de lote pode variar consideravelmente de um fabricante para outro. Os usuários devem buscar

informações com os fabricantes sobre a definição dos lotes de produção e classificar as amostras adequadamente.

5.6.1.1 A requalificação

A requalificação de um componente é necessária quando são realizadas modificações significativas no produto que já passou pelos ensaios de qualificação. Essas modificações podem afetar o desempenho do produto, a sua confiabilidade, o tempo de vida útil, a funcionalidade, a fabricação e montagem. Alguns exemplos de modificações significativas são:

- Modificações nos materiais constituintes (encapsulante, “lead-frame”, etc),
- Tamanho físico do empacotamento,
- Mudança no processo de fabricação,
- Mudança no projeto da pastilha,
- Mudança nas instalações de fabricação.

A requalificação é necessária também, quando os ensaios realizados antes da entrega ao usuário ou aplicação no campo, apresentam discrepâncias ou taxas de falha, excedendo aqueles níveis previstos anteriormente.

5.6.2 – Procedimento de qualificação recomendado

As normas de ensaios de qualificação de MEPs estão listadas e resumidas na Tabela 5.5. Algumas dessas normas são conhecidas pelos usuários de componente de alta confiabilidade, pois são idênticas ou similares àquelas usadas para dispositivos herméticos:

- Ensaio de vida operacional,
- Ciclagem térmica,
- Choque térmico,
- Resistência ao calor de soldagem,
- Resistência a solvente,
- Ensaio de sensibilidade a ESD,
- Ensaio de resistência à radiação,
- Soldabilidade,
- Integridade dos terminais,

- Armazenamento em alta temperatura,
- Atmosfera salina.

O restante dos ensaios listados na Tabela 5.5 tem sido projetado especificamente para ser aplicado nos MEPs ou tem implicações específicas para os MEPs. Esses são vistos adiante em detalhe.

Deve se notar que os ensaios mecânicos, tais como, choque térmico e vibração não estão incluídas nestas discussões (isto se aplica também, ao “screening” visto anteriormente). Isto é devido ao fato que, historicamente, a maioria dos empacotamentos dos MEPs tem a tendência a serem incólumes para esses tipos de estresses. Entretanto, é altamente recomendada a realização desses ensaios para certos tipos de empacotamentos avançados, i.e. aqueles empacotamentos com camadas de encapsulamento extremamente finas, separação de terminais bastante estreita, configurações de “lead-frame” complexas, etc.

5.6.2.1 Ensaio de fadiga altamente acelerado com temperatura e umidade (HAST)

Este ensaio foi desenvolvido especialmente para componentes encapsulados em plásticos depois que se tornou evidente que ensaios em auto-clave 85/85 não estavam produzindo falhas em alguns MEPs. É realizado com o propósito de se avaliar a susceptibilidade de um dispositivo ao ingresso de umidade em ambientes úmidos. Ele emprega várias condições de pressão, temperatura, umidade e tensões de alimentação que aceleram a penetração da umidade no material do encapsulamento ou ao longo da interface entre o encapsulamento e os terminais que o atravessa. Embora as condições possam variar, as condições típicas do HAST são 135°C, 85% de umidade relativa e tensão aplicada. As durações do ensaio estão especificadas na norma JEDEC-22-A110 (JEDEC, 1999) e variam de 25 a 200 horas. Entretanto, os ensaios são freqüentemente estendidos além de 200 horas. Estes ensaios detectam corrosão na sua metalização, delaminação nas interfaces dos materiais, falhas nos “wire-bonds” e redução na resistência de isolamento.

Como descrito anteriormente, devido à severidade extrema do HAST, ele causa, invariavelmente, falhas nos MEPs, impossibilitando a sua correta interpretação. Alguns lotes de MEPs podem suportar ambiente HAST por mais de 1000 horas. Outros poderão apresentar falhas com 50 horas ou menos. O ensaio HAST não é aceito como representativo de uma aplicação espacial. No entanto, pode ser útil para se avaliar as fraquezas do MEP e obter a sua graduação quanto à resistência a umidade de vários produtos de respectivos fabricantes.

5.6.2.2 Quantidade de ciclos de temperatura / umidade / polarização

Esse ensaio é uma variação do HAST e do auto-clave e é um dos ensaios acelerados mais aplicados. Comparado com HAST ou autoclave, tem menor nível de severidade de temperatura e umidade relativa.

O propósito desse ensaio é determinar os efeitos combinados da ciclagem de temperatura, com alta umidade e alimentação de tensão em dispositivos com encapsulamento plástico. As amostras de ensaios são normalmente submetidas a ciclagem de temperatura de -30°C a $+65^{\circ}\text{C}$, enquanto a umidade relativa é mantida em 95% e a polarização é aplicada no dispositivo. A duração do ensaio é geralmente de 1000 horas. Os mecanismos de falha procurados por este ensaio são:

- Corrosão eletrolítica/galvânica,
- Delaminação,
- Propagação de trincas.

Os locais mais comuns de falha são interfaces entre terminais e o encapsulamento, “wire-bondings”, “bondpads”, e metalização * da pastilha.

Tabela 5.5- Ensaios de Qualificação usados em MEPs
 Fontes: JEDEC, 1999, DoD, 1996, ASTM, 1999, UL, 1996

ENSAIO	CONDIÇÕES TÍPICAS	VERIFICAÇÃO FINAL	MODOS DE FALHA	MECANISMO S DE FALHA	NORMAS APLICÁVEIS
HAST com polarização (Nota 1)	135C, 85% U.R., Vdd máx, de 96 a 240 horas (varável)	Inspeção visual e ensaio elétrico	“Wirebond”; levantamento de fio, fuga entre os terminais; falta de adesão da pastilha; delaminação nas interfaces; corrosão dos bondpads; metalização aberta eletricamente	Interdifusão, corrosão, crescimento de dendrítico, despolimerizaçã o, falta de adesão	JEDEC 22- A110
Ciclagem em temperatura e polarização (Nota 1)	60 ciclos, Vcc ON/OFF com 5 min de intervalo, 95% U.R., +30C a 65C, com tempo de aquecimento e resfriamento de 4 horas cada e tempo de permanência de 8 horas em cada extremo de temperatura	Inspeção visual e ensaio elétrico	Resistência à umidade reduzida enquanto os dispositivos estão operando	Delaminação, trincas no encapsulamento	JEDEC 22- A100A

continua

Tabela 5.5- Continuação

ENSAIO	CONDIÇÕES TÍPICAS	VERIFICAÇÃO FINAL	MODOS DE FALHA	MECANISMOS DE FALHA	NORMAS APLICÁVEIS
Ciclagem em Potência e Temperatura (Nota 1)	Somente para dispositivos que experimentam elevação de temperatura na junção maior que 20C; mínimo de 1000 ciclos de - 40C a 125C	Inspeção visual e ensaio elétrico	Circuitos em curto e abertos, delaminação nas interfaces, levantamento de "wirebondings"	Fadiga devido a cisalhamento, falta de adesão	JEDEC 22-A105A
Choque térmico	-55C a 125C, 500 ciclos	Inspeção visual e ensaio elétrico	Trincas no "package", delaminação nas interfaces, falhas nas ligações	Falha de adesão, descasamento térmico, perda da metalização integridade	MIL-STD-883, TM 1011; JEDEC 22-A106
Resistência ao Aquecimento de soldagem (Nota 1)	100C a 260C na razão de 40C/Seg e mantido por 10 segs em 260C	Inspeção visual e imageamento micro acústico	"Package" trincado ou delaminação nas interfaces	Penetração de umidade, iniciação e propagação de trinca	JEDEC 22-B106A

continua

Tabela 5.5- Continuação

ENSAIO	CONDIÇÕES TÍPICAS	VERIFICAÇÃO FINAL	MODOS DE FALHA	MECANISMO S DE FALHA	NORMAS APLICÁVEIS
Resistência a solventes	Fluxo de solda, pasta de solda; agentes de limpeza de fluxo: Exemplo 10 mm de enxague em Tricloroetano, 10 mm de enxague em Isopropanol, 15 mm de lavagem em água de- ionizada, secagem em 120°C por 1 hora	Inspeção visual e ensaio elétrico	Variações nas medidas paramétricas e fugas	Corrosão, falta de adesão, aumento de tamanho, despolimerizaçã o, dano superficial, perda da marcação do componente	MIL-STD-883, TM 2015
Sensibilidade a ESD	Modelo do corpo humano: 1500V, 1 A diminuindo exponencialmente com a constante de tempo igual a 300 a 400 ns ou modelo de dispositivo carregado: 1500Vrms, 15 A, 4 a 5 oscilações, 15 ns	Inspeção visual e ensaio elétrico	Circuitos em aberto, aumento na resistência elétrica	Ruptura no dielétrico	MIL-STD-883, TM 3015

continua

Tabela 5.5- Continuação

ENSAIO	CONDIÇÕES TÍPICAS	VERIFICAÇÃO FINAL	MODOS DE FALHA	MECANISMOS DE FALHA	NORMAS APLICÁVEIS
Integridade dos Terminais	Tensão de 8,0+/- 0,5 OZ. Deve ser aplicado, sem choque, numa direção paralela ao eixo do terminal e deve ser mantida por 30 segs no mínimo.	Inspeção visual de 10X a 20X	Terminais quebrado ou danificados	Uso de materiais impróprios, processamento deficiente	MIL-STD-883, TM 2004; JEDEC 22-B105
Soldabilidade	Caracterizar soldabilidade como fabricado ou após armazenagem	Inspeção visual, molhagem	Terminais não soldáveis	Metalização fina ou porosa, "pinholes"	MIL-STD-883, TM 2003 e TM 2022; MIL-STD-202, TM 208; EIA-RS-186
Resistência à radiação	Radiação com CO-60, protons e ions pesados	Ensaio funcionais e de parâmetros elétricos	Sensibilidade a dose total, a SEU e Latch-up	Geração de pares eletrôn-buraco, disparo de SCR de estrutura bipolar parasítica	MIL-STD-883, TM 1019; ASTM F-1192
Armazenagem em alta temperatura	150C, 1000 horas no mínimo	Inspeção visual, ensaio elétrico	Perda de soldabilidade, instabilidade elétrica	Metalização deficiente do terminal	MIL-STD-883, TM 1008
Atmosfera salina	Nuvem salina em 35C por 240 horas	Inspeção visual	Corrosão, pitting, blistering, flaking	Metal base não tratado adequadamente, metalização dos terminais deficiente	MIL-STD-883, TM 1009, TEST COND. D; JEDEC 22-A107

continua

Tabela 5.5- Continuação

ENSAIO	CONDIÇÕES TÍPICAS	VERIFICAÇÃO FINAL	MODOS DE FALHA	MECANISMOS DE FALHA	NORMAS APLICÁVEIS
Degasagem	CVCM<0,1% e TML<1,0% Notas 7 e 8	Medição Analítica	N/A	Contaminação resultado do uso de fora de especificação do material moldante	ASTM-E-595
Inflamabilidade	Com ou sem remoção da fonte de ignição	Inspeção visual	Falha em atender o critério de inflamabilidade	Uso materiais deficientes retardante a chamas	UL 94

NOTAS:

1. Todos os componentes devem ser pré-condicionados a um procedimento que simula uma montagem de placa empregando os MEPs. O procedimento deve incluir simulação de absorção de umidade e de soldagem por refusão. Também é recomendada a exposição a fluxo de soldagem (possível fonte de corrosão) e a agentes de limpeza de placa.
2. TML – “Total Material Loss”
3. CVCM – “Condensable Volatile Collected Material”
4. TM – “Test Method”

5.6.2.3 Quantidade de ciclos de potência e de temperatura

O propósito desse ensaio é determinar a capacidade do componente de suportar condições de pior caso de temperatura, encontrado em aplicações típicas. É indicado para dispositivos de potência que experimentam elevação de temperatura na junção, maior que 20°C, após aplicado a alimentação. A temperatura é tipicamente variada entre -40° C e 85° C com tempos de transição entre temperaturas extremas

de 5 a 30 minutos e tempos de permanência em cada extremo de temperatura de 60 a 70 minutos. A duração do ensaio é tipicamente de 1000 horas, com medidas elétricas realizadas nos intervalos. Este ensaio freqüentemente revela os mesmo modos e mecanismo de falha de dispositivos que o da ciclagem de temperatura.

5.6.2.4 Resistência ao calor da soldagem

O propósito deste ensaio é determinar se o empacotamento do MEP pode agüentar os efeitos do calor que eles estão sujeitos durante a soldagem de seus terminais. Os terminais dos dispositivos são mergulhados num pote contendo solda no estado líquido e são, em seguida, resfriados no ambiente. O empacotamento é examinado visualmente, examinado no microscópio acústico a procura de evidência de dano. Este ensaio pode resultar em trincas no empacotamento devido ao efeito “popcorn” ou delaminações na interface entre o material de moldagem e no suporte da pastilha.

5.6.2.5 Degasagem

Os ensaios de degasagem são realizados com o intuito de se determinar o conteúdo volátil do material quando exposto a ambiente de vácuo. A ASTM-E-595 (ASTM, 1993) é uma norma de método de ensaio usado para este fim. A amostra do material é exposta a 125°C num vácuo de 5×10^{-5} torr por 24 horas e após, é medida a perda total de massa (TML). A perda global de massa pode consistir de materiais condensáveis e não condensáveis. Durante a exposição em alta temperatura e vácuo, os condensáveis são depositados num coletor que é mantido a +125° C. Este material coletado é referido como material volátil condensável (CVCM). Os valores de TML > 1% e CVCM >0,10% têm sido estabelecidos como limites de rejeição para materiais de uso no espaço.

5.6.2.6 Inflamabilidade

Esses ensaios avaliam o material de moldagem para assegurar que ele não iniciará a combustão seguida da aplicação de uma fonte de ignição, independente se ou não, a fonte de ignição é subseqüentemente removida. Isto é uma consideração especialmente importante nas aplicações do MEP, onde segurança pessoal está envolvida. A norma 94 de inflamabilidade da “Underwriters Laboratories” (UL)

(Underwriters Laboratories, 1996) lista condições de ensaios aplicáveis e atribui graus de retardante a chamas, baseados nos resultados.

5.6.3 – Comparação das condições de ensaio usados na indústria

São poucas as normas de ensaios para os MEPs, adotadas pela indústria. Em geral, os fabricantes estabelecem seus próprios procedimentos de qualificação, baseados nas práticas de mercado e nos requisitos do cliente. Tipos de ensaios acelerados com nível e combinação de estresse são usados.

A Tabela 5.6 mostra uma comparação dos ensaios realizados por alguns fabricantes, com o objetivo de qualificar seus produtos.

Tabela 5.6- Comparação das condições de ensaios realizados na indústria (Baluck et al., 1995)

Ensaio	Motorola	Intel	T.I.	Signetics	Micron	A. M.
Ciclo de temperatura	-65 a 150C, 1000 ciclos	-55 a 125C, 500 ciclos	-65 a 150C, 1000 ciclos	-65 a 150C, 500 ciclos	-65 a 150C, 500 ciclos	-65 a 150C, 1000 ciclos
Autoclave	121C, 15 psig, 96 hs	121C, 96 hs	121C, 2 atm, 96 hs	121C, 20 psig, 336 hs	121C, 15 psig, 96 hs	121C, 15 psig, 168 hs
Temperatura e umidade com polarização	85C, 85% UR, 1008 hs	85C, 85% UR, 1000 hs	85C, 85% UR, 1000 hs	85C, 85% UR, 2000 hs	85C, 85% UR, 1000 hs	85C, 85% UR, 2000 hs
Tempo de operação	T _j = temperatura max. Com derating max de potência ou polarização de tensão; 1008 hs	-	125C, 1000 hs	150C, 2000 hs	150C, 1000 hs	125C, 168 hs

continua

Tabela 5.6- Continuação

Ensaio	Motorola	Intel	T.I.	Signetics	Micron	A. M.
Armazenagem em alta temperatura	-	200C, 48 hs	150C, 1000 hs	175C, 2000 hs	150CC, 1008 hs	125C, 2000 hs
Resistência ao calor da soldagem	-	-	260C, 10 segs	-	-	-
Operação em baixa temperatura	-	-	-	-10C, 1000hs	-10C, 1008 hs	-

T.I. -Texas Instruments

A.M.- America Microelectronics

5.6.4 – Importância do pré-condicionamento

Os MEPs devem ser submetidos a uma seqüência apropriada de pré-condicionamento, antes de serem submetidos a ensaios de monitoração de confiabilidade e/ou de qualificação. Os ensaios aplicáveis estão indicados na Tabela 5.2. Este procedimento de pré-condicionamento deve simular o ambiente real em que os MEPS estarão expostos durante a montagem da placa. Por exemplo, o procedimento deve incluir uma seqüência de injeção de umidade e refusão de solda que consiste da quantidade de ciclo previsto de calor do processo de soldagem. Devem-se utilizar os tempos de processamento e temperatura que serão usados, assim como a exposição do tipo de fluxo de soldagem. Temperaturas e umidades ambientais, representativas do ambiente de montagem de placa devem ser duplicadas.

O pré-condicionamento é uma prática necessária, porque os MEPs estarão sujeitos a tensões mecânicas e térmicas durante a pré-formação, a estanhagem dos terminais e a soldagem por refusão de solda nas PCIs; essas tensões terão um efeito acumulativo com as tensões que serão experimentadas posteriormente, durante a vida em serviço das placas e, assim como, a necessidade de ser considerado em qualquer procedimento de qualificação.

5.7 – Manuseio e armazenagem

Os MEPs são susceptíveis aos mesmos tipos de dano de empacotamento/terminal e aos mesmos tipos de danos de descarga eletrostática que ocorrem com os dispositivos herméticos.

Como resultado, precauções similares de manuseio e armazenagem devem ser exercidas para ambos os tipos de empacotamento. Entretanto, os MEPs são especiais, quanto à susceptibilidade a umidade e a contaminação absorvida pelo material encapsulante. Esta susceptibilidade, como vista anteriormente, pode produzir uma quantidade de mecanismos de falha. Exemplos são; corrosão na metalização de alumínio da pastilha, e em certos casos, na cratera sob o bondpad e trincas no empacotamento durante a instalação na PCI. Embora esses mecanismos possam não causar uma falha imediata, dentro de um determinado período de tempo, eles podem degradar completamente a confiabilidade do dispositivo.

Isto requer que os MEPs sejam protegidos de condições potencialmente danosas de temperatura e umidade relativa. Esta proteção deve ser fornecida durante todas as fases de embalagem, manuseio e armazenagem que ocorrem entre a fabricação dos componentes e seu uso. A responsabilidade em fornecer esta proteção deve ser compartilhada pelo fabricante, distribuidor, e o usuário final, assim como também, o eventual montador de placas que irá manipular os MEPs. O Instituto de Interconexão e Empacotamento de Circuitos Eletrônicos (IPC) tem publicado um documento cuja intenção é fornecer aos fabricantes e usuários de circuito integrado, procedimentos padronizados de manuseio e classificação de sensibilidade com o intuito de evitar danos nos MEPs (ANSI/IPC, 1990).

A seguir são apresentados tópicos resumidos contidos no referido documento.

Independentemente da exata composição do material de moldagem usado no encapsulamento, todos os MEPs absorvem umidade assim que termina o processo final de cura, durante a fabricação, quando os componentes são expostos às

condições ambientais. Se medidas preventivas não forem tomadas, a umidade absorvida se difundirá através do encapsulante, via ação capilar, e finalmente alcançará a interface pastilha/epóxi. A quantidade de umidade absorvida pode ser expressa como um percentual em peso do empacotamento seco e pode ser determinada aplicando-se o processo de “baking”, no empacotamento por 24 horas em $+125^{\circ}\text{C}$ e registrando a perda de peso percentualmente.

Um limite de umidade absorvida de 0,11% em peso é normalmente usado como limite teórico para o conteúdo de umidade interno. (Alguns levantamentos independentes parecem indicar que o limite de umidade permissível deveria ser menor para grandes empacotamentos de dispositivos de montagem superficial). Isto significa dizer que se acredita que para um dado empacotamento, pode, geralmente, suportar calor de soldagem sem trincar neste nível de umidade. Uma vez excedido esse limite de 0,11% em peso, a probabilidade de ocorrência de trincas durante a soldagem aumenta consideravelmente.

A Tabela 5.4 apresenta os períodos de tempo para alcançar 0,11% em peso do conteúdo de umidade em função da temperatura e da umidade.

Esses valores são para unidades que têm sido desidratadas por 24 horas em 125°C , antes de serem expostas a várias condições controladas de umidade.

Tabela 5.7 – Períodos de tempo (“Floor Life” *) para se alcançar 0,11% em peso (ANSI/IPC, 1990)

AMBIENTE (em °C e %UR)	PONTO DE ORVALHO (°C)	FLOOR LIFE (hrs) (para 0,11% em peso)
25/50	15	100
25/85	22	75
30/60	21,8	92
30/70	25	72
40/40	26,5	110
40/85	38,6	50

NOTA: Considerando após realização do processo de “baking” dos MEPs e antes da soldagem por refluxo do SMT (assume-se que o “baking” retire 0,05% em peso).

Enquanto todos os MEPs são preocupantes do ponto de vista de conteúdo interno de umidade, os MEPs de montagem superficial são os que deve receber maior atenção, devido à exposição a processos de soldagem por refusão quando são instalados em placas e conseqüentemente, eles são mais susceptíveis às trincas por causa do efeito “popcorn”.

A discussão a seguir está inicialmente relacionada aos MEPs de montagem superficial e a prevenção de trincas no empacotamento e produção de crateras sob os bondpads durante as operações de soldagem por refusão; entretanto, os mesmos procedimentos de manuseio e armazenagem devem ser levados em consideração quando se tratar de MEPs com furos passantes.

5.7.1 – Controle de absorção de umidade

Há várias maneiras de se reduzir a susceptibilidade dos MEPs a danos provocados pela absorção de umidade. O mais comum, é manter o empacotamento tão seco quanto possível. Isto pode ser feito com uma das três maneiras:

- Armazenagem num dessecante,

- Fazendo um “baking” de temperatura,
- Ou mantendo em baixa temperatura.

O dessecante usado pelo fabricante é necessário desde o início para proteger os MEPs sensíveis a umidade. Embora o empacotamento seco deva ser usado para todos os MEPs que são utilizados em aplicações de alta confiabilidade, os fabricantes podem somente utilizar esta técnica para aqueles MEPs que são considerados sensíveis à umidade, p.ex. os de montagem superficial.

Portanto, é importante para os usuários de alta confiabilidade, especificar este requisito na documentação de aquisição/fornecimento “procurement”, independentemente do tipo de empacotamento do dispositivo a ser adquirido. Quando os fabricantes fazem empacotamento a seco, eles normalmente usam três níveis de empacotamento a fim de maximizar a proteção para os MEPs.

O primeiro nível consiste em empacotar os MEPs num container adequado de armazenagem. Esses containers são magazines (p. ex. tubos plásticos são usados para PDIPS), ou rolos de fita; o tipo de container depende do tipo de empacotamento, do uso com alimentadores automáticos de componentes e do custo.

O segundo nível envolve empacotamento a seco do container primário de armazenagem contendo sacos de barreira de umidade (MBBs – “moisture barrier bags”). No momento da secagem, é recomendado que os dispositivos tenham um conteúdo de umidade menor que 0.05% em peso. Portanto, muitos fabricantes realizam medidas de ganho de peso em lotes de amostras representativas para assegurar que eles estão dentro destes limites, antes de empacotá-los nos MBBs.

Um dessecante do tipo “dry pack” consiste de um material dessecante e um cartão indicador de umidade (HIC- “Humidity Indicator Card”) que são aquecidos juntos com os dispositivos dentro do MBB. O “dry pack” possibilita um tempo de permanência em prateleira de 12 meses. Exemplo de “dry pack” é apresentado na Figura. 5.5.

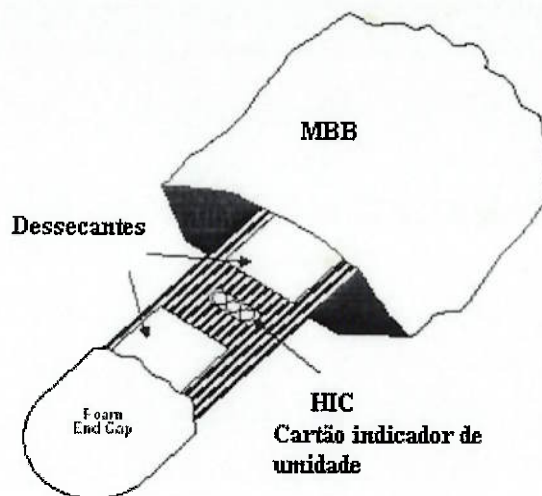


Figura 5.5- Exemplo de “dry-pack”

O material dessecante é um material absorvente da umidade colocado no interior do MBB para absorver umidade do ar de dentro do MBB. Deve ser isento de poeira e não ser corrosivo. O tipo de material dessecante e a sua quantidade devem ser estabelecidos, de modo a manter uma umidade relativa baixa, por um período de 12 meses para todos os MEPs acondicionados dentro do MBB. Embora tenha sido estabelecido 20% como umidade relativa máxima permitida, como limite em ambiente aberto, isto pode ser impraticável sob ponto de vista do efeito da descarga eletrostática (ESD).

O HIC é colocado dentro do MBB e serve para indicar a exposição à umidade do dispositivo. O HIC é apresentado na Figura 5.6. O cartão tem 3 círculos coloridos que correspondem a 3 níveis de umidade relativa (de 5% a 15%).

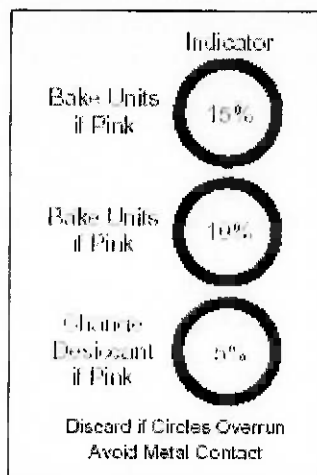


Figura 5.6- Exemplo de cartão indicador de umidade (HIC)

Etiqueta de aviso é fixado do lado de fora dos MBBs. Essas etiquetas avisam ou identificam que componentes sensíveis a umidade e/ou dessecantes estão no seu interior. Essas etiquetas também informam a data da selagem de fábrica, indicando o tempo que ainda resta de permanência em prateleira. Uma amostra da etiqueta de aviso é apresentada na Figura 5.7.

Os distribuidores na sua maioria empregam os “dry-packs”. Entretanto, como regra geral, usuários de MEP de alta confiabilidade devem adquirir componentes diretamente do fabricante sempre que possível. Se o MEP for adquirido de um distribuidor, o usuário deverá verificar, o uso do “dry packing” pelo distribuidor, antes do embarque.

O terceiro nível de empacotamento utilizado pelos fabricantes é a caixa de papelão. Os MBBs, como magazines (“trays”) ou carretéis enfiados com dessecantes no interior são empacotados nas caixas de papelão lacradas e pronta para entrega. Informações de embarque e de conteúdo são impressas no container externo.



	Caution This bag contains MOISTURE-SENSITIVE DEVICES	LEVEL 
	<small>1. If Level is not indicated, use "dry package"</small>	
1. Calculated shelf life in sealed bag: 12 months at $\leq 40^{\circ}\text{C}$ and $\leq 60\%$ relative humidity (RH)		
2. Peak package body temperature: _____ $^{\circ}\text{C}$ <small>If blank, see adjacent bag code label</small>		
3. After bag is opened, devices that will be subjected to reflow solder or other high temperature process must		
a) Mounted within: _____ hours of factory conditions <small>If blank, see adjacent bag code label</small>		
$\leq 30^{\circ}\text{C}/60\% \text{ RH}$, OR		
b) Stored at $\leq 10\% \text{ RH}$		
4. Devices require bake, before mounting, if:		
a) Humidity Indicator Card is $> 10\%$ when read at $23 \pm 5^{\circ}\text{C}$		
b) 2a or 3b not met		
5. If baking is required, devices may be baked for 48 hours at $125 \pm 5^{\circ}\text{C}$		
<small>Note: If device containers cannot be subjected to high temperature or shorter bake times are desired, reference IPC/JEDEC J-STD-033 for bake procedure</small>		
Bag Seal Date: _____ <small>If blank, see adjacent bag code label</small>		
<small>Note: Level and body temperature defined by IPC/JEDEC J-STD-020</small>		

Figura 5.7- Exemplo de etiqueta de aviso de componentes sensíveis a umidade

Após o envio dos MEPs, a responsabilidade pela continuidade da proteção contra a absorção de umidade é transferida para o montador de placa e/ou ao usuário final. Ao receber do fabricante ou do distribuidor, a embalagem “dry package” deve ser inspecionada quanto a data registrada no selo da embalagem, assim como, a sua inviolabilidade.

A atenção daqui para frente deve estar naqueles que manusearão os componentes e ao mesmo tempo garantir que não será ultrapassado o tempo previsto sem a proteção contra a umidade. Este tempo é conhecido como “floor life”. Esse tempo também é definido como sendo o intervalo em que os componentes são retirados da embalagem de proteção (MBBs).

A Tabela 5.5 lista o “floor life” para MEPs fornecidos em “dry-packs” versus condições de montagem. Por exemplo, um ambiente típico de montagem é de 30°C e 60% de umidade relativa, sob essas condições, o “floor life” do MEP é somente de

48 horas. O “floor life” dos MEPs em processo pode ser estendido, controlando-se o ambiente. Componentes podem ser armazenados em nitrogênio seco em temperatura ambiente. Os empacotamentos perdem umidade para o nitrogênio. A soldabilidade do terminal não é degradada durante este tipo de armazenamento, porque o nitrogênio evita oxidação.

Tabela 5.8- Períodos de tempo (“Floor Life”) dos componentes empacotados com dessecantes (ANSI/IPC, 1990)

AMBIENTE (em °C e %UR)	PONTO DE ORVALHO	“FLOOR LIFE” PARA 0,11% (horas)
25/50	15	60
25/85	22	30
30/60	21,8	48
30/70	25	40
40/40	26,5	92
40/85	38,6	20

NOTA: Considerando após abertura do envelope protetor contra umidade. Assume-se que os componentes absorvem 0,08% em peso, durante empacotamento e armazenagem.

Os “bakings” de temperatura podem ser usados para remover qualquer umidade absorvida depois que os MEPs são removidos de seus MBBs. Os “bakings” de alta temperatura, i. e., em +125° C para 16 a 24 horas, removem rapidamente a umidade absorvida. Entretanto, a alta temperatura também servirá para acelerar a oxidação dos terminais e acelerar a formação intermetálica nos terminais; esses efeitos podem afetar a soldabilidade do terminal. Os “bakings” de baixa temperatura de longa duração, podem também ser usado para remover umidade excessiva. O “baking” de baixa temperatura deve ser limitado em +40° C e deve ser realizado em baixa umidade relativa (menos de 10%) utilizando nitrogênio seco. A duração desse “baking” de baixa temperatura pode variar entre 8 dias e um mês e dependerá do conteúdo inicial de umidade e da espessura dos empacotamentos. O “baking” de

baixa temperatura é vantajoso porque os MEPs podem ser aquecidos sem removê-los dos seus magazines, “trays” ou carretéis enfitados; isto minimiza o manuseio. Também, a soldabilidade do terminal não é afetada. (As durações recomendadas para o “baking” acima mencionadas, podem ser bastante longas. No entanto, muitos dos empacotamentos avançados dos MEPs com pequenas espessuras dos encapsulantes plásticos, podem requer “baking” de curta duração).

Qualquer que seja a técnica utilizada para controlar umidade, o usuário do MEP deve registrar a data quando o MBB for aberto, o tempo de exposição, e a umidade ambiental. O período de tempo “floor life” remanescente deve ser rastreado, ao longo de todo o processo, mesmo quando o MBB for aberto e fechado repetidamente.

Se a norma de exposição do fabricante é excedida, os componentes devem passar pelo processo de “baking” ou “rebaking” se for o caso. O procedimento mais seguro a ser tomado para assegurar que os componentes estão suficientemente isentos de umidade no momento da soldagem é colocá-los no “baking” momentos antes da soldagem.

5.7.2 – Retrabalho de placas de circuito impresso

Os MEPs continuam a absorver umidade logo após serem soldados na PCI. Durante o retrabalho, envolvendo remoção e soldagem do componente, o conteúdo interno de umidade do componente deve ser considerado. O retrabalho poderá causar trincas próximo do local onde se aplicou o calor. Se for utilizado o mesmo componente, este deverá ser submetido ao “baking” antes de ser soldado na PCI. Os componentes substituídos devem ser mantidos secos também. A ressoldagem localizada é recomendada, evitando-se assim que a PCI seja novamente submetida aos perfis de temperatura do processo de soldagem. Não sendo conhecida a sensibilidade quanto a umidade e/ou o conteúdo da umidade dos componentes a serem retrabalhados, a PCI deverá passar pelo processo de “baking” antes do retrabalho.

Nas aplicações espaciais de alta confiabilidade, a PCI montada são normalmente recobertas com uma camada de material resiliente (“Parylene” ou “Solithane”) a fim de fornecer proteção contra partículas soltas, contaminação, etc. Esta cobertura também protege a PCI, retardando a absorção de umidade pelos MEPs. “Parylene” e “Solithane” são marcas comerciais de materiais usados como protetores de PCIs.

5.7.3 – Controle das PCIs montadas

A precaução para evitar absorção de umidade deve continuar, mesmo após todas as fases de montagem e de retrabalho da PCI. As placas montadas devem ser armazenadas em condições ambientais controladas. Quando são removidas destas condições, devem ser registradas. Esses registros devem documentar o tempo em que estiveram expostas às condições ambientais não controladas. Em circunstâncias extremas de umidade, pode ser necessário passar novamente por um “bake-out” para remover a umidade. Logo após essa operação, as placas montadas devem retornar para as condições controladas de armazenagem.

6 – CONSIDERAÇÕES SOBRE AQUISIÇÃO E UTILIZAÇÃO DOS MEPS

Devido à abordagem conservadora e de baixo risco impostos aos programas espaciais, ainda se levará algum tempo para que os MEPS sejam aceitos pelas agências espaciais. O Goddard Space Flight Center (GSFC) da NASA utiliza os MEPS nos seus programas espaciais desde que o seu emprego seja inteiramente avaliado para uma dada aplicação e os requisitos da missão sejam totalmente atendidos.

Beverly (2002) cita que os MEPS foram usados no passado nas missões do ônibus espacial, em aplicações menos críticas, porque não havia na época disponibilidade de componentes com encapsulamento cerâmico para aquelas aplicações. Acrescenta ainda, que atualmente a disponibilidade de componentes com encapsulamento cerâmico, se agravou, porque a função desejada do dispositivo só se encontra, no momento, em dispositivos com encapsulamento plástico.

Os fatores baixo custo e disponibilidade de componentes eletrônicos continuam a afetar os programas espaciais. Por causa desses fatores e da melhoria contínua na confiabilidade dos MEPS, estes dispositivos estão sendo cada vez mais considerados em aplicações críticas. Como exemplo, os MEPS estão atualmente sendo estudados em aplicações de memórias de estado sólido, onde eles oferecem maior densidade, menor peso e maior disponibilidade do que as outras opções.

É necessário estabelecer um plano para os MEPS, antes de serem adquiridos, independentemente da sua aplicação. A Figura 5.8 apresenta um fluxograma para um plano de aquisição. O foco do plano deve estar no entendimento global do ambiente de aplicação, em conjunto com o entendimento das limitações do emprego dos MEPS. O plano deve incluir a avaliação do fornecedor/distribuidor, a análise dos dados técnicos e a investigação histórica sobre o uso do MEP pretendido.

6.1 – Identificação dos requisitos de aplicação

A primeira parte de um plano de aquisição é identificar todos os requisitos referentes à aplicação. É importante, caracterizar o ambiente operacional, esperado, mecânico e térmico. Por exemplo, os extremos de temperatura alto e baixo, no pior caso e a quantidade de ciclos de temperatura devem ser previstos, a fim de avaliar e compreender a magnitude e o tipo de fadiga térmica que os componentes deverão suportar. Outros fatores, tais como projeto do hardware e a criticalidade do componente devem também ser compreendida. Os requisitos e as limitações devem ser comparados com as especificações publicadas pelos fabricantes. Esse processo é vital para se garantir que qualquer MEP candidato se adequará dentro do envelope da aplicação.

6.2 – Seleção de componentes

Deve-se elaborar uma lista de pretensos MEPs e seus respectivos fabricantes, com capacidade de atender e exceder os requisitos da aplicação. Uma preocupação que se deve ter nesse processo é garantir que o MEP pretendido seja fornecido por mais de uma fonte. Para cada componente candidato, as potencialidades do respectivo fabricante devem ser verificadas.

É importante assegurar que o componente em consideração tenha uma tecnologia madura e um volume contínuo de produção. Os registros históricos e de confiabilidade do fabricante são dados muito importantes. Fabricantes, fornecedores tradicionais de microcircuitos herméticos, usados em aplicações militares e espaciais, têm a vantagem de compreender as necessidades dos usuários e as limitações que os MEPs possuem. Na maioria das vezes, se comprometem em fornecer produtos de alta confiabilidade.

Normalmente, os fabricantes de MEPs de alta produção, não alteram seus processos de fabricação para pedidos de pequenos lotes de produção. O usuário deve identificar quais ensaios de “screening” e de qualificação são necessários. O usuário deve estabelecer e providenciar a realização dos ensaios não realizados pelo fabricante.

6.3 – Dados e informações de apoio

Após identificar os componentes e os fabricantes, deve se iniciar o levantamento de dados para um componente particular. Esses levantamentos devem focar na situação da qualificação do componente e do fabricante, na confiança do fabricante para o componente e em todos os dados disponíveis de qualificação para o componente. O fabricante deve ser contatado e solicitado os dados disponíveis de ensaio de confiabilidade. Ao procurar este tipo de informação, poderá ser necessário confiar nos dados genéricos fornecidos pelos fabricantes ou em dados de confiabilidade de campo, obtidos de outros usuários de alta confiabilidade. Tais dados são válidos somente se as taxas de falha demonstradas são aceitáveis e se os dados são aplicáveis para o ambiente em questão. Se os dados do fabricante ou de campo não estiverem disponíveis, será necessário que o comprador desenvolva e implemente ensaios em lotes de qualificação, após decisão de adquirir os componentes.

Não sendo o fabricante certificado ou aprovado, as instalações do fabricante deverão ser visitadas e auditadas. Isto pode representar um custo, porque a grande maioria dos MEPs é fabricada fora do país. As auditorias permitem ao usuário, compreender o processo básico de fabricação do MEP, do equipamento empregado, e dos métodos usados pelo fabricante, para manter o controle de processo e a alta qualidade do produto.

É interessante obter amostras aleatórias e representativas de produção do MEP, de modo que uma análise preliminar de DPA possa ser realizada. Esta análise deve ser completa, a fim de se saber se os materiais, os processos de fabricação e a mão de obra utilizada são aceitáveis.

6.4 – Aquisição através de distribuidores

Na maioria das vezes, a aquisição de MEP diretamente de fabricantes não é possível e os componentes têm de ser adquiridos através de distribuidores. Nem todos os distribuidores implementam controles rígidos de manuseio e armazenagem. A fim de verificar esses controles, o usuário do MEP deve investigar e avaliar os

distribuidores, se estes possuem os mesmos procedimentos e cuidados do fabricante. (Se possível, uma auditoria deve ser realizada nos distribuidores). O usuário deve verificar se os distribuidores seguem procedimentos recomendados pelo fabricante: utilizam dessecante do tipo “dry packing”, se mantém ambiente adequado quando os MBBs são abertos; se registram quando os componentes estão fora dessas embalagens; se adequadamente anotam e selam os MBBs; e, finalmente se atendem todas as normas de exposição do MEP, recomendado pelo fabricante.

6.5 – Outras sugestões para aquisição de componentes de alta confiabilidade

As sugestões a seguir podem ser úteis na aquisição de MEP para aplicações em alta confiabilidade. Algumas dessas sugestões nem sempre são viáveis. Isto dependerá das circunstâncias, caso a caso; portanto, é necessário que cada usuário considere sua própria situação.

Sempre que possível, os MEPs devem ser adquiridos diretamente de fabricantes qualificados (se possível, componentes QML). Investigação e avaliação da capacidade e do controle de processo do fabricante devem ser realizadas na expectativa e na confiança de que as normas de processamento do fabricante garantirão a qualidade. Isto poderá eliminar a necessidade de se impor requisitos de “screening” e de qualificação sobre os seus produtos.

6.6- Política sugerida de utilização dos MEPs

Para os programas espaciais de baixo custo (micro-satélites, p.ex.) recomenda-se a utilização dos MEPs desde que eles sejam completamente avaliados para uma dada aplicação e ao mesmo tempo atendam todos os requisitos impostos pela missão.

Para missões críticas, os MEPs devem ser escolhidos somente quando houver vantagens funcionais e disponibilidade e nunca somente por razões econômicas. Os procedimentos preliminares, necessários para se garantir a confiabilidade, geralmente anulam qualquer vantagem de custo inicial aparente. E, finalmente, os MEPs nunca devem substituir dispositivos equivalentes de alta confiabilidade, sem que haja uma avaliação prévia de seu desempenho na missão pretendida.

Os MEPs com datas de fabricação acima de três anos devem ter a permissão de uso aprovada antes do seu emprego.

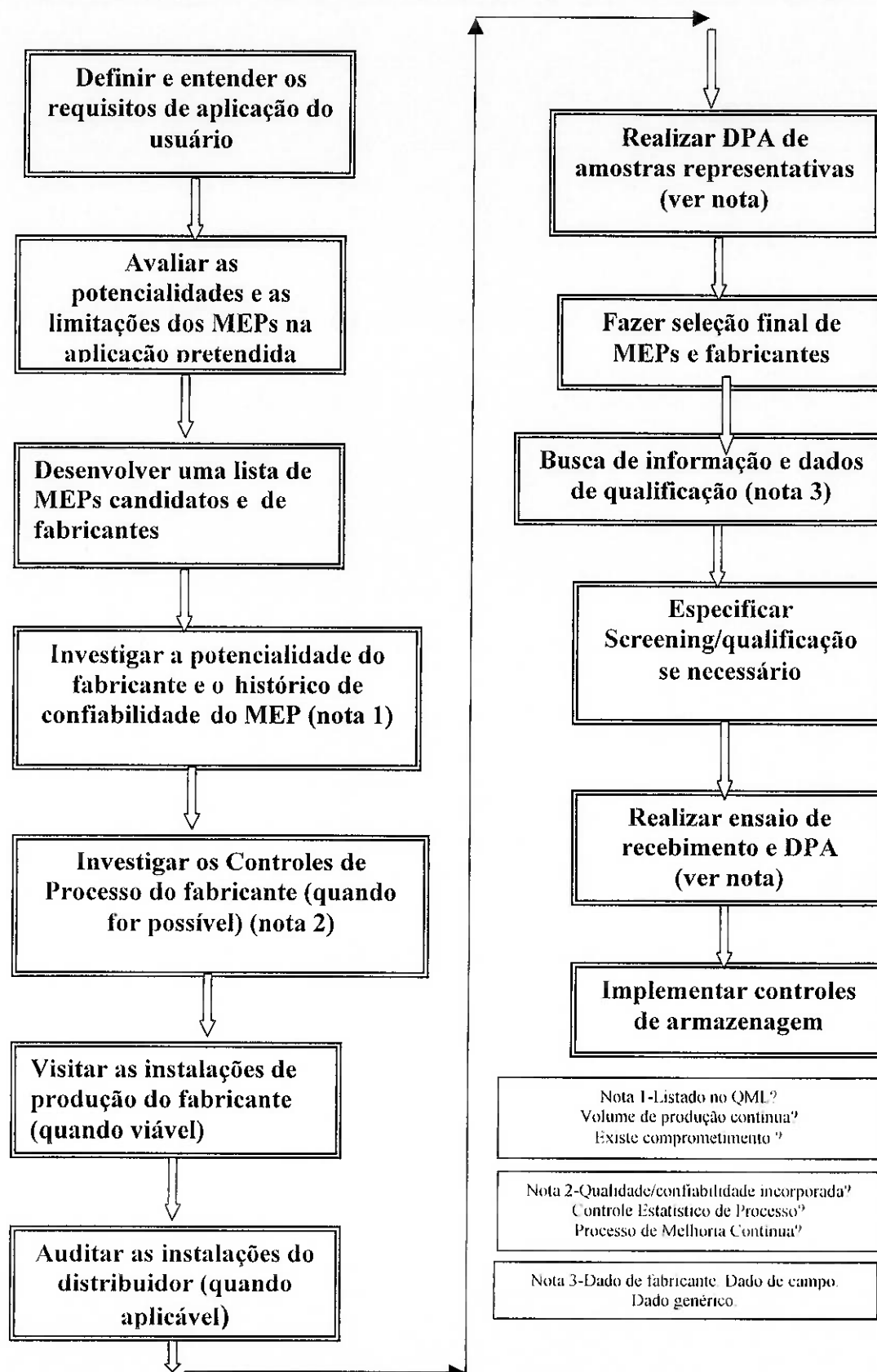


Figura 5.8- Fluxograma do plano de aquisição dos MEPs

NOTA: Quando necessário, o procedimento de DPA existente deve ser modificado para se adequar aos MEPS.

7.0- CONCLUSÃO

Os projetistas de satélites tem diante de si um grande desafio. O desafio é obter sistemas cada vez mais confiáveis, com baixo custo, num mundo cada vez mais globalizado. Dada as características do Brasil, altamente dependente de tecnologia espacial, teremos para as próximas gerações de satélites a necessidade de se obter redução de massa e volume, com uma alta integração nas operações internas, usando circuitos eletrônicos cada vez mais reduzidos e complexos, oferecidos somente com o emprego dos componentes conhecidos como comerciais de prateleira (Comercial Off-the-Shelf, COTS). Os componentes encapsulados em plásticos, (MEPs), em particular, objeto de estudo deste trabalho, estão dentro dessa categoria.

Foram abordadas neste trabalho várias considerações sobre a fabricação, os mecanismos e modos de falha, tanto os produzidos na fabricação quanto durante o uso. Os cuidados necessários durante o processo de soldagem na prevenção do ingresso de umidade e até a fase operacional do equipamento eletrônico.

Foi abordada neste trabalho a evolução na melhoria da confiabilidade dos MEPs nos últimos anos, através de trabalhos realizados por várias instituições. Também foram abordadas as vantagens e desvantagens, tanto técnicas como econômicas. Ressaltou-se aqui, o interesse que tem despertado no setor espacial a aplicação dos MEPs, não só pelo fato de terem atingido, comparativamente, a mesma confiabilidade dos componentes herméticos, mas também pelo fato da disponibilidade destes estar cada vez menor e conseqüentemente, inviáveis sob o ponto de vista do custo.

Destacou-se, também, a necessidade de desenvolvimento de novos procedimentos de qualificação e de cuidados, quanto ao manuseio e armazenagem antes, durante e após montagem dos MEPs.

Conclui-se, através deste trabalho que os MEPs não devem ser considerados como sendo a solução para todos os problemas de componentes. A aplicação do

MEP deve ser bem planejada, conhecida todas as características da missão. Todas as considerações aqui apresentadas devem ser levadas em conta, para que se obtenha todas as vantagens e se garanta o alto desempenho desses componentes.

Estabelecer quais os componentes e tecnologias que poderão atender estes objetivos não é uma tarefa fácil. Planejamento e gerenciamento de risco são essenciais para montagem de um sistema espacial confiável. Qualquer risco desconhecido, associado a uma tecnologia de eletrônica avançada e aos componentes COTS, poderá resultar num fracasso da missão.

ANEXO A**PROPRIEDADES E ENSAIOS DE MATERIAIS DE MOLDAGEM****A.1. Objetivo**

Neste anexo são apresentados as propriedades e os ensaios dos materiais plásticos usados em encapsulamentos de circuitos integrados. Também estão indicadas as propriedades dos materiais de moldagem de interesse por parte do usuário do MEP.

A confiabilidade do encapsulamento moldado em plástico é bastante afetada pelos materiais utilizados, especialmente, os materiais de moldagem. Por tanto, é muito importante para os usuários de MEP entender as propriedades físicas dos materiais de moldagem e como esses se relacionam no desempenho do MEP na aplicação pretendida.

A Tabela A.1, no final deste anexo, apresenta uma lista de propriedades dos materiais de moldagem mais importante, com valores limites típicos que são fornecidos pelos fornecedores de materiais. Baseado em pesquisa de vários fornecedores de materiais de moldagem. Nota-se a existência de grande faixa de valores e/ou limites para essas propriedades. Elas dependem da aplicação pretendida. Deve-se, também, notar que algumas dessas propriedades podem ser de pouco ou nenhum interesse para os usuários de MEP, a não ser que haja interesse no controle interno da qualidade do fabricante. Outras propriedades, indicadas por um * na Tabela A.1, podem ser de importância especial, para o usuário, dependendo de sua aplicação. Os exemplos a seguir ilustram este ponto.

Se um usuário pretende usar um MEP numa aplicação onde a temperatura de junção pode exceder 150° C, ele deve verificar as propriedades do material para assegurar que o respectivo valor do Tg exceda essa temperatura.

Numa aplicação espacial, onde são usadas pastilhas de memória ou células de armazenamento do tipo flip-flop, os erros do tipo “soft errors” * são preocupantes. O

usuário deve-se assegurar que o conteúdo de impurezas radioativas do material de moldagem esteja especificado abaixo de um valor estabelecido.

Embora não esteja listado na Tabela A.1, as propriedades de degasagem do material são importantes em aplicações espaciais. É importante que o usuário pergunte ao fabricante se o ensaio de degasagem foi realizado e solicite os resultados desse ensaio. Se for necessário, o usuário terá que, ele mesmo, realizar os ensaios de degasagem.

A seguir é apresentado um breve comentário sobre todas as propriedades que estão listadas na Tabela A.1.

A.1 – Coeficiente de expansão térmica (CET)

O CET do material de moldagem deve ser tão próximo quanto possível dos outros materiais usados na construção do MEP. Diferenças nos CETs podem contribuir para significantes estresses térmico de encolhimento. Ao se medir o CET, dois valores distintos são obtidos, isto é, um abaixo de T_g (referido como alfa-1) e outro acima de T_g (referido como alfa-2). Na região abaixo do T_g , o material de moldagem apresenta-se duro e com propriedades próximas do vidro. Na região acima de T_g , o material amolece, mas não flui sob uma pressão constante. Ele tem uma consistência próxima da borracha. É importante manter alfa-1 e alfa-2 tão próximo, quanto possível, se a temperatura esperada da pastilha de silício for mantida próxima de T_g na aplicação pretendida. Isto prevenirá distorção do material de moldagem devido as tensões termo-mecânicas.

A.2 – Temperatura de transição vítrea (T_g)

É a temperatura na qual os movimentos das cadeias de polímeros tornam-se suficientes, possibilitando a deformação do material em resposta a uma carga externa. Na prática, é interessante ter um T_g tão alto quanto possível, porque isto permite que o MEP suporte temperaturas de operação mais elevadas.

Entretanto, quanto mais alto o T_g , mais alto o CET, mais elevado o fator de perda dielétrica no material de moldagem. Portanto, estes efeitos indesejados devem ser levados em consideração na formulação do material.

A.3 – Módulo de flexão

Esta propriedade fornece a medida da resistência de um material a mudanças dimensionais com o tempo, sob condições de carga mecânica. Quanto maior o valor, maior é a resistência do material às variações nas dimensões com o tempo, devido às tensões.

A.4 – Resistência à flexão

Resistência à flexão fornece a medida da capacidade do material resistir a tensões de estresses sem falha. Quanto maior o valor, maior é a resistência do material ao empenamento durante as operações de moldagem. A resistência à flexão (como também o módulo de flexão) varia com a temperatura.

A.5 – Tensões térmicas

As tensões térmicas são causadas durante o aquecimento e o resfriamento do material de moldagem e são resultados das diferenças dos CETs dos diversos materiais existentes dentro do MEP. As tensões térmicas são também causadas por ciclagem de temperatura durante os ensaios e/ou durante o seu uso. Esses parâmetros de tensão são somente uma aproximação grosseira dos pontos de concentração de tensões ou fatores geométricos e de material de interface que venham produzir trincas.

A.6 – Condutividade térmica

A condutividade térmica é uma medida da capacidade do material de moldagem de conduzir calor. Esta propriedade é de importância especial em dispositivos de alta dissipação de potência. Na medida que o calor é gerado na superfície da pastilha, a condutividade térmica deve ser suficiente para prevenir que seja excedida a máxima temperatura de junção permitida.

A.7 – Resistividade volumétrica

Esse parâmetro define resistividade por volume do material e serve como um indicador da capacidade do material de fornecer isolamento elétrico. Valores altos são especialmente importantes nos empacotamentos com terminais bem próximo uns dos outros para prevenir fuga elétrica ou curto circuito entre os terminais.

A.8 – Conteúdo de urânio e tório

Em memórias e outros dispositivos que contêm registros de armazenamento do tipo flip-flop, erros do tipo “soft errors” * podem ser induzidos por partículas alfa emanadas de traços de elementos radioativos, tais como urânio e tório, encontrados nos materiais de moldagem (Label et al., 1998).

A.9 – Comprimento da espiral do fluxo

Este é um ensaio padronizado, baseado na ASTM-D-3123 (ASTM, 1999), que mede a distância que o material de moldagem derretido, viaja num molde construído especialmente sob condições controladas. Neste procedimento, o material de moldagem é carregado num pote de transferência, aquecido e depois transferido, sob uma dada pressão e temperatura, através de uma bobina espiralada de seção semicircular até o fluxo cessar. O resultado é uma medida de três fatores: a taxa em que o material de moldagem funde sob pressão do molde, da viscosidade do material derretido e da taxa do gel. Dois materiais podem apresentar o mesmo comprimento da espiral, mesmo um tendo duas vezes a viscosidade e duas vezes o tempo de gel do outro. Este ensaio é geralmente usado para comparar materiais ou lotes de materiais ou como uma medida de controle da qualidade em especificações para aquisição.

A.10 – Tempo de “gel” do seguidor do sacador (RAM)

Este é o tempo requerido para o material de moldagem, sob condições de temperatura controlada, mudar de estado físico de um pó sólido para um líquido ou semi-sólido (“gel”). Este tempo está diretamente relacionado à estabilização dos polímeros, às tensões de encolhimento e ao tempo de cura. Tempos de gel menores significam taxas de polimerização mais rápida, tempo de cura no molde mais curtos e

maior produtividade. Entretanto, estes também resultam em velocidades de fluxo maiores e maior risco de dano por tensões induzidas pelo fluxo. Por tanto, deve ser feito uma análise de compromisso antes de se determinar o tempo ótimo do “gel”.

O seguidor do soqueador é um transdutor montado no dispositivo de transferência do molde durante os estudos do fluxo espiral. Sua saída é geralmente conectada a um registrador que fornece o perfil de fluxo do material de moldagem, em termos de deslocamento e do tempo do soqueador, possibilitando uma melhor caracterização do material. Como exemplo, o uso de um seguidor do soqueador possibilita distinguir entre dois materiais diferentes, tendo o mesmo comprimento do fluxo espiral.

A.11 – Endurecimento a quente

O endurecimento em alta temperatura é uma medida da rigidez do material de moldagem, enquanto ainda no molde de temperatura no final do ciclo de cura recomendado. É necessário que o material esteja suficientemente duro para permitir a remoção dos MEPs do molde sem grudar ou deformar.

A.12 – Conteúdo de nitrogênio

O nitrogênio é inerente em certos aceleradores usados nos materiais compostos para encurtar o tempo de cura. Sempre que aditivos contendo nitrogênio forem usados, deve-se manter sempre baixo seu conteúdo, para evitar constituintes químicos corrosivos, resultado da combinação com o hidrogênio.

A.13 – Análise de extração da água

Esta é uma análise complexa que indica a mobilidade das impurezas iônicas contida no material de moldagem, quando exposto à água. Uma amostra do material de moldagem é colocada em ebulição em água de-ionizada e os materiais voláteis são coletados e analisados. É importante que os parâmetros medidos, tais como a condutividade e os níveis quantitativos de cloro, sódio e potássio sejam baixos. Valores altos indicam que o material de moldagem é mais susceptível a formação de compostos químicos danosos, durante exposição a ambientes úmidos.

A.14 – Cloro hidrolisável

As impurezas iônicas hidrolisáveis, tais como cloros, reagem prontamente para formar ácidos ou bases perigosos que podem resultar em corrosão. A fonte principal de cloro no material de moldagem é a própria resina epóxi, sendo derivada de materiais contendo cloro. Como consequência, é extremamente importante manter o nível de cloro (e qualquer outras impurezas iônicas hidrolisáveis) no mínimo, na síntese e no refinamento do material de moldagem.

A.15 – Bromo e antimônio total

O bromo é deliberadamente adicionado ao material de moldagem como um retardante a chama. Entretanto, é um halógeno potencialmente perigoso e geralmente, o antimônio é também adicionado para compensar o bromo. O bromo em excesso pode resultar em corrosão; o antimônio em excesso pode resultar em toxicidade e fragilidade. A quantidade desses aditivos deve ser adequadamente estabelecida para atingir o nível desejado de retardo da chama, sem exceder os níveis de segurança.

A.16 – Inflamabilidade

Os laboratórios “Underwriters Laboratories Inc.” (UL) desenvolveram uma norma de ensaio, UL 94, “Standard for test for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances”, edição número 5 de 29 de outubro de 1996, aprovada pelo Departamento de Defesa americano em 16 de setembro de 1988.

Esta norma é freqüentemente usada para avaliar o desempenho de inflamabilidade do material de moldagem.

Tabela A.1- Limites típicos especificados para propriedades de materiais de moldagem.

PROPRIEDADE	VALORES TÍPICOS OU LIMITES
Coeficiente de Expansão Térmica (CET) *	16 ppm/C
Alfa-1	25 ppm max
Alfa-2	75 ppm max
Temperatura de transição do vidro *	150 C
Módulo de Flexão *	1400 kg/mm ²
Resistência à Flexão *	15kg/mm ²
Tensões térmicas *	0,45 kg/mm ²
Condutividade Térmica *	16x 10 exp(-4) CAL/cm-SECC
Resistividade Volumétrica	7x 10 exp(16) ohm-cm
Conteúdo de Urânio *	0,4 ppb
Comprimento da espiral do fluxo	60-90 cm
Tempo de Gel do seguidor do sacador (RAM)	15-25 Seg
Dureza a quente	85 (SHORE D)
Conteúdo de Nitrogênio *	400-455 ppm
Extração da água *	Ver item A.13
Condutividade	20 umhos/cm max
Cloro	25 ppm max
Sódio	25 ppm max
Potássio	10 ppm max
Cloro hidrolizável *	50 ppm max
Bromo total *	0,6-0,9 %
Antimônio total *	1,0-2,5 %
inflamabilidade *	UL 94V0

NOTA: As propriedades indicadas acima com * são importantes para os usuários do MEP.

LISTA DE REFERÊNCIAS

AMERICAN STANDARD OF TESTING MATERIALS. **Standard test method for deflection temperature of plastics under flexural load in the Edgewise position. ASTM-E-648-01.** W. Conshohocken, PA. 2001

AMERICAN STANDARD OF TESTING MATERIALS. **Standard test method for coefficient of linear thermal expansion of plastics between -30C and +30C with a vitreous silica dilatometer. ASTM-D-696-98.** W. Conshohocken, PA. 1998

AMERICAN STANDARD OF TESTING MATERIALS. **Standard test method for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating materials. ASTM-D-790-02.** W. Conshohocken, PA. 2002

AMERICAN STANDARD OF TESTING MATERIALS. **Standard test method for spiral flow of low-pressure thermosetting molding compounds. ASTM-D-3123-98.** W. Conshohocken, PA. 1999

AMERICAN STANDARD OF TESTING MATERIALS. **Standard practices for evaluating the resistance of plastics to chemical reagents. ASTM-D-543-95.** W. Conshohocken, PA. 2001

AMERICAN STANDARD OF TESTING MATERIALS. **Standard test method for DC resistance or conductance of insulating materials. ASTM-D-257-99.** W. Conshohocken, PA. 1999

AMERICAN STANDARD OF TESTING MATERIALS. **Standard test method for total mass loss and collected volatile condensable materials from outgassing in a vacuum environment. ASTM-E-595-93.** W. Conshohocken, PA. 1999

AMERICAN STANDARD OF TESTING MATERIALS. **Standard guide for the measurement of single event phenomena (SEP) induced by heavy ion irradiation of semiconductor devices. ASTM-F-1192-00.** W. Conshohocken, PA. 2000

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE/ INTERCONNECTING AND PACKAGING ELECTRONIC CIRCUITS. **Recommended procedures for handling of moisture sensitive plastic IC package. ANSI/ IPC-SM-786.** Evanston, Ill, EUA. 1990.

BALUCK, M.J. et al. **Fundamentals of plastic encapsulated microcircuits for space applications.** NASA/GSFC, 1995. Disponível em: <
<http://misspiggy.gsfc.nasa.gov/ctre/act/techdocs/pem2.htm>>. Acesso em 7 fev. 2002.

BEVERLY, D. Plastic encapsulated microcircuits. [mensagem pessoal] Mensagem recebida por: brito@dss.inpe.br em 8 ago. 2002.

CONDRA, L. et al. Comparison of plastic and hermetic microcircuits under temperature cycling and temperature humidity bias. **IEEE Transactions on Componentes, Hybrids and Manufacturing Technology**, v. 15, n. 5, outubro 1992.

DEPARTMENT OF DEFENSE, **Test method standard of microcircuits- MIL-STD-883E**, Washington, 1996.

DEPARTMENT OF DEFENSE, **Reliability prediction of electronic equipment - MIL-HDBK-217F**, Washington, 1991.

DEPARTMENT OF DEFENSE , **Integrated circuits (microcircuits) manufacturing, general specification for- MIL-PRF-38535E**, Washington, 1997

DYER, C.S.; TRUSCOTT P.R. Cosmic Radiation Effects on Avionics. **Radiation Protection Dosimetry**, v. 86, n. 4, p. 337-342, 1999.

GARDNER, J.R. The appropriateness of plastic encapsulated microcircuits in a specific wooden-round application. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 45, n. 1, N. York, 1996. p. 10-8.

GRIGG, K. C. Plastic versus ceramic IC reliability study, Report No. WP862020, **Rockwell International, Collins Group**, 1986.

JOINT ELECTRON DEVICE ENGINEERING COUNCIL. **High temperature storage life. JESD22-A103-B**. Arlington VA. 2001.

JOINT ELECTRON DEVICE ENGINEERING COUNCIL. **Physical dimension. JESD22-B100-A**. Arlington VA. 1990.

JOINT ELECTRON DEVICE ENGINEERING COUNCIL. **Highly accelerated temperature and humidity stress. JESD22-A110-B**. Arlington VA. 1999.

JOINT ELECTRON DEVICE ENGINEERING COUNCIL. **Power and temperature cycling. JESD22-A105-B**. Arlington VA. 1996.

JOINT ELECTRON DEVICE ENGINEERING COUNCIL. **Thermal shock. JESD22-A106-A**. Arlington VA. 1995.

JOINT ELECTRON DEVICE ENGINEERING COUNCIL. **Salt atmosphere. JESD22-A107-A**. Arlington VA. 1989.

JOINT ELECTRON DEVICE ENGINEERING COUNCIL. **High temperature storage life. JESD22-A103-B**. Arlington VA. 2001.

JOINT ELECTRON DEVICE ENGINEERING COUNCIL. **Cycled temperature humidity bias life test. JESD22-A100-B**. Arlington VA. 2000.

JOINT ELECTRON DEVICE ENGINEERING COUNCIL. **Resistance to soldering. JESD22-B106-B.** Arlington VA. 1999.

JOINT ELECTRON DEVICE ENGINEERING COUNCIL. **Lead integrity. JESD22-B105-B.** Arlington VA. 1999.

JOINT ELECTRON DEVICE ENGINEERING COUNCIL. **Assessment of average outgoing quality levels in parts per million (ppm) . JESD16-A.** Arlington VA. 1995.

KRAMER, G.; ADOLPHSEN, J.. A qualitative assessment of commercial grade microcircuits in plastic and cerdip packages. **GSFC PACER 10-006**, 1980

LABEL, K.A. et al. Emerging radiation hardness assurance (RHA) issues: a NASA approach for space flight programs. 12 p. Disponível em:
< <http://radhome.gsfc.nasa.gov/radhome/papers/RHA98.pdf> > Acesso em: 8 ago. 2002.

LEROSE, S., et al. Evaluation of standard plastic integrated circuits reliability after accelerated sequential testing. **Annales des Telecommunications**, v. 45, n. 11-12, nov/dez. 1990.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION, GODDARD SPACE FLIGHT CENTER. A qualitative assessment of commercial grade microcircuits in plastic and cerdip packages. PACER 10-006, 1980

NSWC. Naval Surface Warfare Center, Crane Division. Disponível em:
< <http://www.crane.navy.mil/sd18/MicrocircuitFailure.htm> > Acesso em: 4 fev. 2003.

NORMAND, E., Single-event effects in avionics. **IEEE Transactions on Nuclear Science**, N. York, v. 43, n. 2, abr., 1996.

PECHT, M.; AGARWAL, R.; QUEARRY, D. Plastic packages microcircuits: quality, reliability, and cost issues. **IEEE Transactions on Reliability**. N. York, v. 42, n. 4, 1993. P. 513-517.

PRIORE, M. ; FARRELL, J. Plastic microcircuit packages: a technology review. Report No. CRTA-PEM, Reliability Analysis Center, Rome, N.Y., mar. 1992.

SANDOR, M. [JPL submitted 15 plastic devices ...] Benseville, IL: Sonoscan, 1997. 11p.

SANDOR, M. Plastic encapsulated microcircuits (PEMs) reliability/usage guidelines for space applications. Jet Propulsion Lab, Pasadena, 2000, 26p.

SCHULTZ, W.L; GOTTESFELD, S.. Reliability considerations for using plastic-encapsulated microcircuits in military applications. 1994. 12 p. Disponível em: < http://nepp.nasa.gov/index_nasa.cfm/619/?id=18133807-89F6-44CD-8B9BEF88009FB838 >. Acesso em: 8 ago. 2002.

SEMMENS, J.E.; KESSLER, L.W. Non-destructive evaluation of thermally shocked plastic integrated circuit packages using acoustic microscopy. International Symposium for Testing and Failure Analysis, 1988.

UNDERWRITERS LABORATORIES. Standard for test for flammability of plastic materials for parts in devices and appliances. UL 94. Northbrook, IL. 29 out. 1996.

WEIL, L. et al. Reliability evaluation of plastic encapsulated parts. **IEEE Transactions on Reliability**, N. York, v. 42, n. 4, p. 536-540 , dez, 1993.

WINOKUR, P. et al..Use of COTS microelectronics in radiation environments.
IEEE Transactions on Nuclear Science, N. York, v. 46, n.6, dez., 1999.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

BIDDLE, S.R. Commercial plastic microcircuits – a total solution for military applications ? Disponível em :

<http://nepp.nasa.gov/index_nasa.cfm/619/?id=18133807-89F6-44CD-8B9BEF88009FB838> Acesso em 8 ago. 2002.

DOWDY, T.W.; SHARMA, A.K. Plastic encapsulated microcircuit (PEM) derating, storage and qualification report. Local: NEPP, data. 17 p. (Report No: TR04-0600)

DYER, C.S.; TRUSCOTT, P.R.. Cosmic radiation effects on avionics. **Radiation Protection Dosimetry**, v. 86, n. 4, 1999. p. 337-42.

EMERSON, D. et al.. Plastic-encapsulated microcircuit reliability & cost-effectiveness study. **IEEE Transactions on Reliability**. N.York. v. 45, n. 1, 1996. p. 19-22.

GANNAMANI, R. ; PECHT, M. An experimental study of pop-corning in plastic encapsulated microcircuits. **IEEE Transactions on Components Packaging and Manufacturing Technology-Part A**. N. York. v. 19, n. 2, 1996. p. 194-201.

HAKIM, E.B. et al.. Plastic-encapsulated microcircuits (PEMs): long-term dormancy studies. **Circuit World**, v. 23, n. 4, 1997. p. 26-9.

JOHNSON, B.; VERMA, V.. Reliability assessment of fielded plastic and hermetically packaged microelectronics. **IEEE Transactions on Reliability**. N. York, v. 45, n. 1, 1996. p. 23-6.

KRINKE, T.A.; PAI, D..K.. COTS/ROTS for mission-critical systems. Disponível em: <http://nepp.nasa.gov/index_nasa.cfm/619/?id=18133807-89F6-44CD-8B9BEF88009FB838>. Acesso em: 8 ago. 2002.

KROEGER, B.. **A semiconductor perspective on obsolescence**. In: Parts Obsolescence Workshop. Redstone Arsenal, 22 abr. 1977. 12 p. Disponível em: <<http://www.ti.com/sc/docs/military>>. Acesso em: 8 ago. 2002.

LALL, P.. Tutorial: temperature as an input to microelectronics-reliability models. **IEEE Transactions on Reliability**. N. York. v. 45, n. 1, 1996. p. 3-9.

LAU, J.H. et al.. Experimental & statistical analyses of surface-mount technology PLCC solder-joint reliability. **IEEE Transactions on Reliability**. N. York, v. 37, n. 5, 1988. p. 524-30.

MC CULLEN, J. T.. Reliability of electronic packaging. **SHARP Commercial and Plastic Components in Military Applications Workshop**, 1993.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **NASA parts policy**. 3 p. Disponível em: <<http://nodis.hq.nasa.gov/Library/Directives/NASA-WIDE/contents.html>>. Acesso em: 23 jan. 2002.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (GSFC). USE of plastic encapsulated (PEMs) in space flight application has been long standing issue (The). 9 p. Disponível em: <<http://misspiggy.gsfc.nasa.gov/tva/pems/esapems.htm>>. Acesso em: 23 out. 2001.

O'CONNOR, C. ; McCLUSKEY, P. C01-05 guidebook on the use of PEMs at high altitudes. University of Maryland, **CALCE Electronics Products and Systems Center**. 19 p.

PECHT, M.; KANG, W-C.. A critique of Mil-Hdbk-217E reliability prediction models. **IEEE Transactions on Reliability**. N. York. v. 37, n. 5, 1988. p. 453-6.

PECHT, M.; RANADE, Y.; PECHT, J.. Effect of delamination on moisture accelerated failures in plastic encapsulated microcircuits. **Circuit World**, v. 23, n. 4, 1997. p. 11-5.

RICHARDS, B.. Environmental management in electronics manufacturing. **Circuit World**, v. 23, n. 4, 1997. p. 16-25.

ROSE, G.L. et al.. **Plastic encapsulated microcircuit (PEM) guidelines for "Screening" and qualification for space applications**. jan. 1997. 33 p. Draft.

TRW. Military products from commercial lines.. San Diego: 1999. 7 p. (Final Report For the Period 04 May 1994-04 September 1998)

GLOSSÁRIO

AOQ	-(Average Outgoing Quality)- fração do lote médio não conforme em partes por milhão de uma série de lotes.
baking-out	-no sentido usado aqui significa operação para submeter o dispositivo durante 24 horas na temperatura de 125C +5/-0C para remover a umidade do seu interior (IPC/JEDEC J-STD-020B)
ball-bond	-conexão de um fio para o “pad” de uma pastilha de um micro-circuito.
benchmark	-termo que indica “o(s) melhor(es) resultado(s) do mundo” dentre as organizações concorrentes, em determinados itens de controle.
burn-in	-solicitação operacional inicial de um componente, item, sub-conjunto, produto ou sistema, dentro de seu limite de projeto, sob condições operacionais, com o objetivo de eliminar falhas precoces durante o processo de fabricação.
caracterização	-avaliação de parâmetros de desempenho contra limites fora e/ou dentro da faixa de especificação.
deflashing	-remoção do excesso de material de moldagem que flui sobre os terminais durante processo de moldagem.
dejunking	-remoção de material indesejável, remoção de rebarba
epóxi	-um tipo de resina termofixa misturada com outros aditivos, a fim de formar um material, forte, endurecido e quimicamente resistente.
delaminação	-separação entre camadas de um material-base e/ou entre o material-base e a camada de revestimento (“overlay”).
fillers	-substâncias geralmente apresentado em pó ou granulado seco, usado para se obter certas propriedades em polímeros epóxis.
fingers	-tiras do lead-frame que se sobressaem do corpo do empacotamento.
floor life	-período de tempo permitido para que um MEP esteja exposto à umidade do ambiente após ser removido de um MBB e antes do

	processo de soldagem por refusão.
freeze-off	-ponto em que o encapsulante fundido torna-se tão viscoso na porta do molde que se torna impossível à aplicação de pressão de empacotamento.
lead Trim	-corte dos terminais
lead-frame	-parte metálica do encapsulamento consistindo de um suporte no qual se apóia o micro-circuito. Também consiste de uma quantidade de terminais que serve de conexão elétrica entre a pastilha e os elementos de circuitos externos ao empacotamento.
Kirkendall voiding	também conhecido como praga púrpura. Constitui-se na formação de vazios nas conexões dos fios, causados por formações intermetálicas entre os fios de ouro e os “bond-pads” de alumínio.
metalização	-camada adicional metálica com propósito de oferecer proteção.
Multi-plunger mold	-uma versão menor automatizada de um molde tipo “cavity-chase”
Overetching	-remoção excessiva do material devido ao mascaramento com defeito ou controles deficientes, durante a operação de mascaramento.
Passivação	-formação de uma camada isolante diretamente sobre um circuito ou elemento de circuito a fim de proteger a superfície de contaminantes, umidade ou partículas.
Pad	-área ou ilha de soldagem
Pinholes	-pequenos furos penetrando através de filmes, metalizações ou dielétricos
Pitches	-medida centro a centro dos terminais do empacotamento dos dispositivos.
Ram	-soqueador (sacador) Pistão atuando no pote de transferência de uma ferramenta de moldagem para forçar o encapsulante derretido no molde.
Runners	-canais de formato trapezoidal.
short shot	-termo usado para descrever no processo de moldagem o preenchimento e o empacotamento incompleto das cavidades de

	moldagem
scribbling-dicing	-em se tratando de pastilhas semicondutoras quer dizer riscar o “wafer” e separar as pastilhas uma por uma.
soft errors	-erros em células de memória devido a um impacto causado por partículas de alta energia, resultando na mudança de estados lógicos.
split cavity-chase mold	-tipo de ferramenta de moldagem por transferência consistindo de duas metades. Uma contém a metade do sistema de canais e portas e as cavidades de moldagem; a outra metade contém o restante das cavidades. Pinos ejetores são usados para empurrar os componentes moldados para fora das cavidades.
vapor phase	-processo de soldagem que utiliza um ambiente que contém um vapor na mesma temperatura de fusão da solda.
Wafer	-bolacha semicondutora com um certo diâmetro, contendo uma quantidade de pastilha (dices), que isoladamente constitui-se num único circuito integrado.
Wire-bonding	-o método mais comum de fazer uma conexão elétrica do substrato para os terminais. Existem três métodos básicos: a compressão térmica, a ultra-sônica e a pulsante.
Wire-sweep	-refere-se ao movimento permanente ou ao deslocamento dos fios na direção do fluxo devido à tensão induzida pelo mesmo fluxo.
Yield	-relação de quantidade aceitáveis de itens produzidos num lote de produção para o total de produção do mesmo item.