

TESE DE MESTRADO
DO
MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA
METALÚRGICA E DE MATERIAIS

ESTUDO DE MÉTODOS ALTERNATIVOS PARA A
LIMPEZA DE MOLDES PARA O ENCAPSULAMENTO
DE CIRCUITOS INTEGRADOS

REALIZADO POR: SÉRGIO OLIVEIRA GOMES DOS SANTOS

ORIENTADOR NA FACULDADE: PROF. JOSÉ TINOCO CAVALHEIRO

ORIENTADOR NA QIMONDA: ENG.º PAULO MACHADO

Julho, 2008

Candidato: Sérgio Oliveira Gomes dos Santos

Titulo: Estudo de Métodos Alternativos para a Limpeza de Moldes para o Encapsulamento de Circuitos Integrados

Data: 30 de Julho de 2008 *Local:* Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Júri: Presidente: Professor Doutor: Manuel Fernando Gonçalves Vieira, DEMM/FEUP

Arguente: Professor Doutor: Anibal Guedes, DEM/FEUM

Orientador: Professor Doutor: José Tinoco Cavaleiro, DEMM/FEUP

“ A mera formulação de um problema é às vezes mais essencial do que a sua solução, que é bem capaz de ser meramente perícia matemática ou experimental. Para levantar novas questões, novas possibilidades, para relembrar velhos problemas de um novo ângulo requer imaginação criativa e marca o verdadeiro avanço na ciência. ”

Albert Einstein

(1879-1955) Physicist & Nobel Laureate

Resumo

O relatório, aqui exposto, pretende abranger, o trabalho realizado como estagiário na Empresa Qimonda PT ao longo de seis meses.

O estágio efectuou-se na área de Processos de Fabrico, mais concretamente, no processo de Moldação dos Semicondutores, com o objectivo, de identificar um material alternativo a ser utilizado na limpeza dos moldes, tendo em vista a minimização das falhas por contaminações por latão.

O estágio inseriu-se num projecto de Lean Six Sigma, metodologia recentemente implementada na empresa e baseou-se numa causa identificada no projecto para as contaminações, causa essa, o uso de latão na limpeza de moldes.

Como o latão libertava resíduos no molde que contaminavam as unidades produzidas, foram encontradas duas soluções para o problema: um novo material a ser utilizado na limpeza dos moldes, o bambu, e um substrato de latão para ser moldado depois de utilizado o latão não se contaminando material produtivo.

Agradecimentos

Quero, desde já, expressar os meus sinceros agradecimentos a um conjunto de pessoas que me ajudaram e apoiaram na realização deste estágio curricular.

Ao Eng.º Paulo Machado, meu orientador de estágio na empresa Qimonda semicondutores, pelo apoio e disponibilidade dispensadas e, acima de tudo, pela sensatez, competência e experiência manifestadas.

Ao Professor José Cavalheiro, Supervisor do meu estágio da Universidade do Porto, pela preocupação e dedicação demonstradas.

Ao departamento de End-of-Line, nomeadamente, ao Eng.º Rui Batista e à Qimonda Semicondutores, pela oportunidade e pelas ótimas condições de trabalho proporcionadas.

A toda a equipa de End-of-Line, em especial ao Eng.º André Silva e ao Eng.º Vítor Henriques, coordenadores do projecto no qual desenvolvi o meu trabalho, pelo apoio prestados e um agradecimento especial ao Sr. José Almeida, operadores da área de moldBOC e equipa técnica pelo bom ambiente de trabalho e, principalmente, pelo Know-How transmitido, sempre com a máxima preocupação em fazê-lo da melhor forma.

À minha Família e amigos pelo apoio e paciência demonstradas durante este período.

A todos o meu muito obrigado.

Sérgio Santos

Índice

1	Introdução.....	1
1.1.	Finalidade e Objectivos	1
2	Apresentação da Empresa.....	2
2.1.	Processo Produtivo	3
2.2.	Processo de Molde na Qimonda	8
2.2.1.	Moldação por Transferência na Qimonda	10
3	Metodologia Lean Six Sigma	13
3.1.	Seis Sigma	14
3.2.	LEAN Manufacturing.....	17
4	Análise do Problema das Contaminações de Latão.....	21
4.1.	Contaminação dos Moldes	21
4.2.	Contaminações de Latão.....	22
4.3.	Limpeza dos Moldes.....	23
4.4.	Limpeza Química	24
4.5.	Limpeza manual	27
4.5.1.	Conclusão da Analise ao Processo de Limpeza	30
5	Plano de Trabalho na Empresa	31
6	Análise das Contaminações de Latão	34
6.1.	Resultados.....	34
6.2.	Experiência de Substrato Latão	35
6.3.	Experiência com Materiais Existentes na Produção.....	37
6.4.	Experiência com Bambu.....	41
7	Conclusão	43
8	Sugestões para Trabalhos Futuros	44
9	Referências Bibliográficas.....	45

Índice Figuras e Tabelas

Figura 1: Exemplo de produtos fabricados na Qimonda	2
Figura 2: Componente TSOP (em cima), componente BOC (em baixo)	3
Figura 3: Wafer de silício	4
Figura 4: substrato antes e depois da colocação do adesivo	4
Figura 5: colocação do chip no substrato	5
Figura 6: substrato após wire-bonding	5
Figura 7: processo de limpeza por plasma	6
Figura 8: substrato após a moldação	6
Figura 9: substrato após colocação das bolas de solda	7
Figura 10: unidades individuais após singularização	7
Figura 11: Cavidade de moldação e turn table	10
Figura 12: componentes da máquina de molde (pick & place, turn over, degating unit)	11
Figura 13: substrato antes de ser moldado (esquerda) depois de moldado (direita)	11
Figura 14: objectivos do Lean Six Sigma	13
Figura 15: molde contaminado com resíduos [14]	21
Figura 16: ponteira de latão inicial (esquerda) e depois de ser utilizada no molde (direita)	22
Figura 17: componente com defeito (resíduos de latão)	23
Figura 18: colocação do material de limpeza no molde	24
Figura 19: efeito de adesão realizado pela agente de limpeza	24
Figura 20: efeito de trituração realizado pela agente de limpeza	25
Figura 21: efeito penetrante realizado pela agente de limpeza	25
Figura 22: colocação do material lubrificante no molde	26
Figura 23: utensílios de latão utilizados em intervenções no molde	28
Figura 24: utilização da ponteira de latão no molde	29
Figura 25: utilização da espátula de latão no molde	30
Figura 26: gito da moldação	32
Figura 27: ponteira de aço inoxidável	32
Figura 28: ponteiros de bambu	33
Figura 29: diagrama de Pareto dos modos de falha na área de molde	34
Figura 30: contaminações de latão nas diferentes equipas no produto 512M T80	35
Figura 31: substrato “dummy” de latão	36
Figura 32: desenho técnico do substrato “dummy”	36
Figura 33: substrato “dummy” (em cima) e substrato normal (em baixo) depois de moldados	37
Figura 34: primeiro substrato moldado	38
Figura 35: substrato após a utilização dos diferentes materiais	38
Figura 36: gito de moldação após raspar o molde (direita)	39
Figura 37: resíduos de latão no bond channel	40
Figura 38: risco no bond channel provocado pelo gito	40
Figura 39: risco no bond channel provocado pela ponteira de aço inoxidável	41
Figura 40: bond channel do molde com resíduos de mold compound (esquerda), depois da utilização das ponteiros de bambu (direita)	41
Figura 41: substrato com sujidade (esquerda), depois da utilização das ponteiros de bambu (direita)	42
Figura 42: ponteiros de bambu depois de utilizadas	42
Tabela 1: constituintes da formulação do material de encapsulamento [3,5]	8
Tabela 2: diferentes processos de moldação [3]	9
Tabela 3: defeitos por milhão para os diferentes níveis de capacidade de um processo	14
Tabela 4: condições para o procedimento de limpeza [17]	27
Tabela 5 – microdureza Vickers dos materiais utilizados	39

1 Introdução

A intenção deste relatório é o de mostrar todo o trabalho efectuado para a eliminação dos resíduos de latão nas placas de molde.

Numa empresa industrial do nível da Qimonda, a variabilidade dos processos de fabrico é um tema relevante no seu quotidiano. A garantia da qualidade, produtividade e eficiência dos seus processos e produtos assume uma importância extrema na competitividade de um mercado tão competitivo.

A resolução de problemas tão específicos e consequente melhoria dos processos, nomeadamente, a limpeza das placas de molde e eliminação de resíduos de latão dos componentes, tornam-se assim um importante impulsionador do sucesso no fabrico de Componentes Semicondutores que unirá a vertente da quantidade à vertente da qualidade, formando uma simbiose perfeita.

Neste capítulo, é igualmente apresentado a finalidade e os objectivos do trabalho desenvolvido, a estrutura do relatório e a metodologia de trabalho seguida.

1.1. *Finalidade e Objectivos*

O relatório, aqui exposto, delimita, o trabalho realizado como estagiário na Empresa Qimonda, no Departamento de *Assembly Operations*, área de *End-of-Line*, no decorrer do estágio curricular do Mestrado Integrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade do Porto, com a duração de seis meses.

O estágio está identificado no Projecto Lean Six Sigma a decorrer na Qimonda, na área de Molde BOC. O objectivo do trabalho é de identificar um material alternativo ao latão, (material utilizado na limpeza dos moldes), de forma a eliminar as contaminações de latão, eliminando ou minimizando este modo de falha.

2 Apresentação da Empresa

A Qimonda AG com sede na Alemanha é um dos principais líderes mundiais no fabrico de produtos de memória DRAM (Dynamic Random Access Memory). Cotada na bolsa de Nova Iorque desde Agosto de 2006, possui instalações de manufactura na Europa, América do Norte e Ásia.

A Qimonda AG disponibiliza um vasto portfólio e em contínuo crescimento de produtos DRAM/RAM para informática, infra-estruturas, aplicações gráficas, telecomunicações e aplicações de consumo.

A Qimonda PT é o centro de competência em *Back-end* (designação utilizada na indústria de semicondutores para as fábricas de montagem), é a maior fábrica europeia de montagem e teste de memórias, conta com cerca de 1800 colaboradores. A Qimonda PT é hoje:

- A maior fábrica de montagem e teste de produtos de memória da Europa;
- A maior fábrica de *Back-end* do Grupo Qimonda AG;
- O maior exportador a nível nacional;
- O segundo maior investimento estrangeiro em Portugal;
- A maior empresa no sector da Indústria Eléctrica e Electrónica a nível nacional;



Figura 1: Exemplo de produtos fabricados na Qimonda

Nos primeiros anos da década de 60 os componentes encapsulados em plástico não tinham uma grande aceitação, devido à sua baixa confiabilidade, em condições ambientais severas. Com o desenvolvimento tecnológico os materiais poliméricos tornaram-se mais competitivos e fiáveis face aos materiais cerâmicos, a utilização destes permitiu diminuir bastante a dimensão destes componentes.

Hoje em dia fazem-se componentes de maior capacidade de memória e de menor dimensão, assistindo-se a uma evolução tecnológica, com a redução de dimensões e peso de diversos aparelhos: computadores, telemóveis, as câmaras digitais e todo o tipo de aparelhos

digitais. No entanto, a redução de tamanho e aumento da capacidade coloca na produção de memórias problemas crescentes [1].

A indústria de componentes microelectrónicos é um ramo de elevado desenvolvimento tecnológico, devido à concorrência e ao rápido desenvolvimento requerem-se grandes volumes produtivos com elevados padrões de qualidade.

Na empresa Qimonda PT existem dois métodos diferentes de montagem de memórias: TSOP (*Thin Small Outline Package*) e BOC (*Board-on-Chip*). As diferenças existentes entre estes dois métodos estão no suporte utilizado e no número de chips que cada suporte pode conter. O primeiro utiliza um suporte metálico (*lead-frame*) que pode conter até quarenta chips, no segundo os chips são colocados num substrato polimérico, neste caso é possível a colocação de um número mais elevado de chips, até duzentas unidades (figura 2).

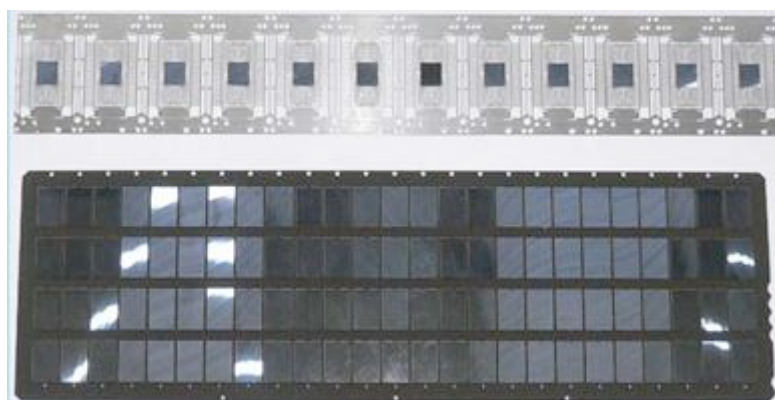


Figura 2: Componente TSOP (em cima), componente BOC (em baixo)

2.1. Processo Produtivo

O processo de fabrico destes componentes passa por diversas etapas, em seguida, encontra-se uma breve descrição das diversas etapas de fabrico de um produto BOC existente na Qimonda PT.

Pré-montagem

Todas as bolachas de silício (com 200 ou 300mm de diâmetro, onde estão centenas de chips agrupados) são recebidas e testadas electronicamente para verificar se os chips se encontram em bom funcionamento.

Posteriormente, as bolachas vão sofrer uma operação de desbaste e corte para diminuir a espessura e para individualizar os chips. Na Qimonda PT existem duas possibilidades para este processo: corte antes do desbaste (DBG), ou desbaste antes do corte (GBD) [2].

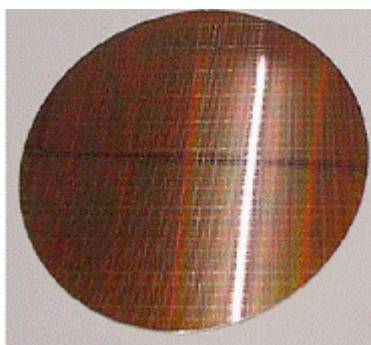


Figura 3: Wafer de silício

Colocação do Adesivo

Consiste na colocação de uma fina camada de adesivo sobre os substratos para permitir a posterior fixação dos chips. Os substratos servem de suporte para um conjunto de chips. Após a colocação do adesivo, efectua-se um processo de cura para remover os solventes do adesivo, este adquire um estado de viscosidade estável [2].

Substrato antes da colocação do adesivo



Substrato após colocação do adesivo



Figura 4: substrato antes e depois da colocação do adesivo

Colocação do chip

Consiste na colocação de cada um dos chips no substrato sobre o adesivo. O processo consiste em remover cada um dos chips da bolacha de Si e colocá-lo sobre o substrato efectuando pressão para este colar ao adesivo. Este é um processo em que a temperatura e a pressão têm que ser devidamente controlados de forma a obter-se uma camada uniforme de adesivo entre o chip e o substrato [2].



Figura 5: colocação do chip no substrato

Cura do adesivo

O componente é sujeito a um processo de cura após a colocação do chip. Este consiste num aquecimento suave até se atingir os 175°C, a esta temperatura o processo dura cerca de 4 horas, o ciclo térmico tem como finalidade a cura total do adesivo, aumento da dureza e uma boa estabilidade química/física, serve ainda para eliminar possíveis resíduos de solvente que possam existir e eliminar humidade existente na interface entre o substrato e o chip [2].

Ligação por fio de ouro

Esta etapa tem como finalidade estabelecer contacto eléctrico entre o substrato e o chip através de um fio de ouro, recorrendo ao processo de soldadura ultra-sónica.

Através do uso de um eléctrodo carregado derrete-se a ponta do fio de ouro por meio de uma descarga de 400V que ioniza o ar, formando-se uma pequena bola na sua extremidade. Por acção de um capilar que exerce pressão e vibração ultra-sónica, a ponta do fio derretida vai unir-se ao substrato formando-se uma interface intermetálica entre o fio de ouro e o contacto (*pad*).

Este processo é extremamente rápido e de grande precisão, permitindo um elevado número de ligações [2].

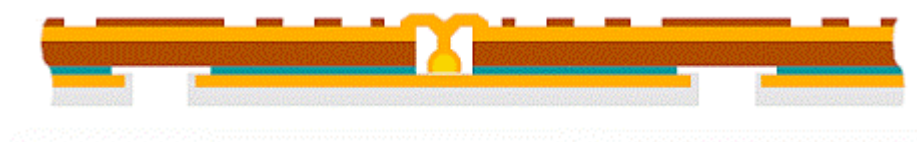


Figura 6: substrato após wire-bonding

Plasma antes de molde

Limpeza do componente por plasma para a eliminação de possíveis contaminações orgânicas e preparação da superfície para melhor adesão do *mold compound* (material compósito de matriz polimérica), evitando assim possíveis delaminações. O processo utiliza uma mistura de hidrogénio ou árgon com oxigénio ionizados [2].



Figura 7: processo de limpeza por plasma

Moldação

Injecção do *mold compound*, que vai cobrir o conjunto formado pelos chips e as ligações deste ao substrato, para assim os proteger de possíveis danos físicos [2].

Este processo encontra-se explicado em maior detalhe no ponto 2.3, sendo neste que se centra o presente estudo.

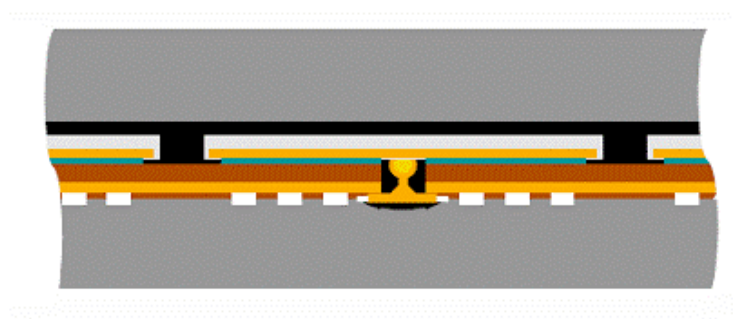


Figura 8: substrato após a moldação

Cura após molde

Etapas de cura realizada a 175°C, durante duas horas. Esta possibilita a estabilização e cura do *mold compound*, serve ainda para remover alguma humidade presente [2].

Plasma após molde

Etapas de limpeza por plasma, idêntica à efectuada anteriormente, realizada a seguir à etapa de molde para eliminar possíveis contaminações orgânicas e preparação da superfície para a colocação das bolas de solda [2].

Fixação das bolas de solda

Esta etapa tem como objectivo anexar bolas de solda aos contactos (*pads*) dos substratos para assim se estabelecer uma ligação mecânica e eléctrica.

Inicialmente deposita-se um fluxo sobre os contactos, sendo as bolas de solda então colocadas sobre este fluxo. Posteriormente é efectuado um processo de brassagem, por meio de um ciclo térmico dividido em cinco etapas, que permite a formação de contacto entre os contactos e as bolas de solda (formação de uma interface intermetálica) [2].

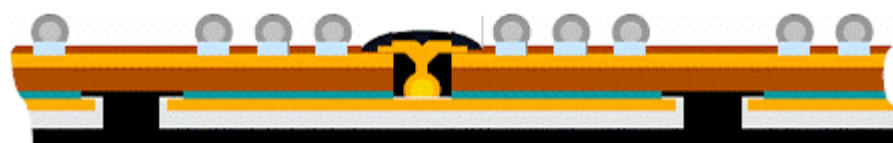


Figura 9: substrato após colocação das bolas de solda

Singularização

Esta é a ultima etapa do fabrico, consiste no corte dos substratos para individualizar as respectivas unidades. O corte é efectuado por um processo mecânico com arrefecimento em água [2].

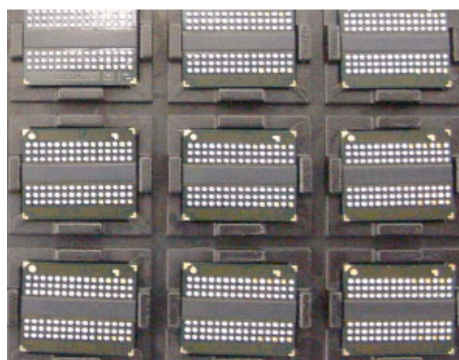


Figura 10: unidades individuais após singularização

Depois de cada unidade estar individualizada e do processo de encapsulamento estar concluído, cada componente vai ser sujeito a diversos testes para verificar a conformidade.

Teste térmico

Consiste em sujeitar os componentes a uma série de flutuações térmicas, com o intuito de testar diferentes ambientes reais a que os componentes poderão estar sujeitos [2].

Teste eléctrico

Outro dos testes efectuados aos componentes com o intuito de verificar o correcto comportamento das memórias quando sujeitas a impulsos eléctricos [2].

Marcação e empacotamento

Chega-se então ao final do processo de fabrico, as unidades que após os diversos testes se encontram conformes são marcadas individualmente e embaladas [2].

2.2. Processo de Molde na Qimonda

Neste processo os substratos com os chips já aplicados são colocados num sistema de múltipla cavidade e encapsulados com um material moldante: esse material é denominado de *mold compound*, compósito que pode ser modificado para cada situação específica. Geralmente, o *mold compound* é constituído por uma resina epóxi, um endurecedor fenólico (agente de cura), sílica, um catalisador, pigmentos e agentes desmoldantes, num único procedimento de moldação [3,4].

Tabela 1: constituintes da formulação do material de encapsulamento [3,5]

Componentes	Concentração em peso (%)	Funções
Resina epóxi	~20	Aglutinador; Aumenta a característica de moldagem; Aumenta a velocidade de cura; Aumenta a viscosidade do material fundido; Aumenta a resistência a vazios; Controla o nível do contaminante iónico;
Agente de cura	~10	Melhora a característica de moldagem; Melhora as propriedades eléctricas; Aumenta a resistência ao calor e á humidade;
Sílica	~70	Aumenta a condutividade térmica; Melhora as propriedades eléctricas e mecânicas;
Catalisador	Muito baixa (<1)	Aumenta a taxa de polimerização ao diminuir o tempo de cura no molde;
Pigmentos	<5	Retardador de chama; Fornece visibilidade ao dispositivo; Estética;
Agentes desmoldantes	Muito Baixa (<1)	Ajuda a soltar o material encapsulante do molde; Minimiza a entrada de humidade e a corrosão;

Os compósitos com matriz de resina epóxidica são actualmente os mais utilizados na indústria microelectrónica, possuem uma baixa temperatura de fusão o que facilita a moldação e minimiza os defeitos de fabrico, têm ainda uma elevada resistência térmica. A temperatura de transição vítrea, o coeficiente de expansão térmica, a condutividade térmica e propriedades de adesão são algumas das características a considerar na selecção do *mold compound*. [4, 6].

Existe uma grande diversidade de materiais de moldação com diferentes propriedades devendo ser seleccionado com precaução o que melhor se aplique para cada situação específica.

Existem diversos processos de moldação que podem ser utilizados no fabrico de componentes microelectrónicos. Na tabela 2, encontra-se uma comparação desses processos.

Tabela 2: diferentes processos de moldação [3]

Método	Vantagens	Desvantagens
Moldação por transferência	Cavidades múltiplas; Economia relativa de materiais; Ciclo curto de tempo; Custos baixos de ferramenta e de manutenção;	Alta pressão de moldagem;
Moldação por injeção	Bom acabamento superficial;	Usado exclusivamente com termoplásticos que possuam alta viscosidade; Necessidade de altas pressões;
Moldação por reacção-injeção	Eficiência energética; Baixa pressão; Boa molhabilidade da superfície da pastilha;	Poucos sistemas de resina disponíveis para empacotamento electrónico; Requer boa mistura;

O processo existente na Qimonda PT é a moldação por transferência. Esta possui uma elevada capacidade para moldar peças pequenas com formas complexas, como são as dos chips.

A moldação por transferência é normalmente aplicada ao processo de moldação de componentes termoplásticos em molde fechado, em que é aplicada pressão e temperatura numa câmara anexa. Quando o termoplástico entra nas cavidades de moldação com elevada fluidez preenche toda a cavidade, mesmo que tenha formas extremamente complexas. Este processo permite elevadas taxas de transferência e de cura, sendo um processo bastante rápido que não necessita de pressões elevadas [7].

2.2.1. Moldação por Transferência na Qimonda

A sequência de moldação começa com a colocação dos substratos com os chips respectivos numa mesa giratória (*turn table*, ver figura 11), neste local os substratos são aquecidos até aos 180°C durante 15 a 20 segundos. Em seguida são transferidos até à cavidade de moldação, cada cavidade leva um conjunto de dois substratos que ficam estáveis na posição correcta através de um sistema de vácuo, o molde é fechado e é aplicada uma pressão de 350kN.



Figura 11: Cavidade de moldação e turn table

Neste processo o *mold compound* é pré-aquecido, entrando para uma cavidade separada do molde num estado pastoso. Após o pré-aquecimento o *mold compound*, já fundido, é empurrado e flui pelo sistema de gitagem até às cavidades de moldação, onde já se encontram os respectivos componentes para encapsular.

Durante este processo a temperatura, a pressão e a taxa de fluxo devem ser cuidadosamente controlados, de modo a que cada substrato seja encapsulado sem a imposição de forças excessivas. Por exemplo, uma velocidade de fluxo muito rápida na cavidade pode deslocar o chip do substrato ou causar deslocação, ou desvio da posição correcta dos fios de ouro (*wire-sweep*), o que por sua vez, pode provocar diversos mecanismos de falha tais como, levantamento das ligações ou curto-circuito entre os fios de conexão [3].

A temperatura no molde é de $180^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ e o tempo de transferência é bastante curto não ultrapassando alguns segundos ($t_{\text{máx}} = 25\text{seg}$).

Os componentes já moldados são mantidos no interior do molde durante 70 segundos para permitir que se inicie o processo de cura da resina, para se obter um polímero rígido e

reticulado, necessário para proteger o chip e o substrato de possíveis danos físicos ou contaminações.

Após a moldação estar concluída o molde abre e os substratos são soltos do molde por uns pinos existentes (*ejector pins*).

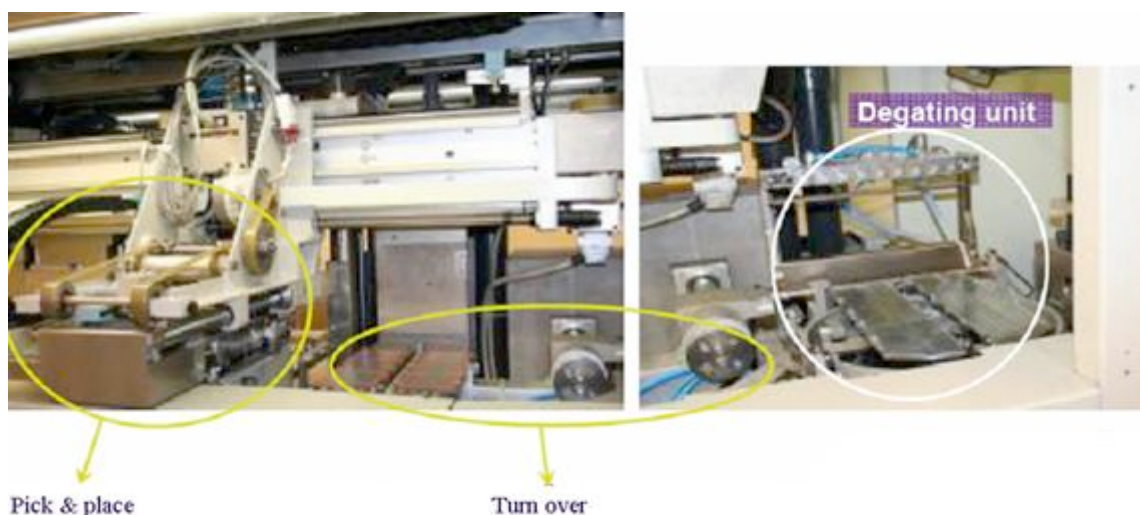


Figura 12: componentes da máquina de molde (pick & place, turn over, degating unit)

Em seguida, os substratos são recolhidos pela *pick & place* e transportados até uma nova mesa (*turn over*), tendo como função iniciar o arrefecimento dos substratos. Posteriormente são rodados 180° e colocados noutra mesa (*degating unit*) onde são quebrados os gitos de moldação. Por fim, os substratos são recolhidos para as respectivas magazines, terminando o processo de moldação.

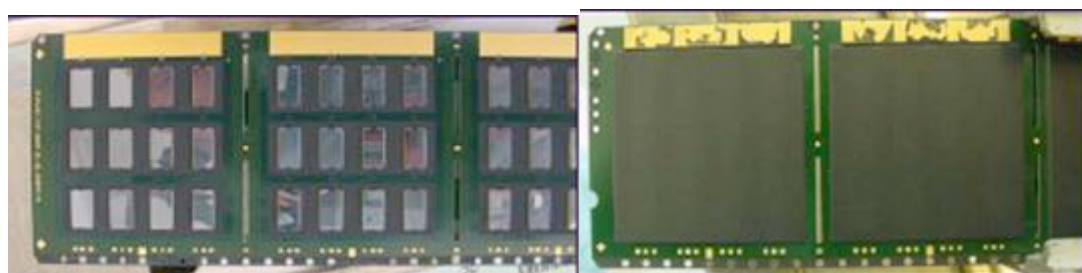


Figura 13: substrato antes de ser moldado (esquerda) depois de moldado (direita)

A moldação por transferência é o método geralmente utilizado para o fabrico de semicondutores devido a apresentar diversas vantagens, sendo de salientar:

- Os produtos podem ser fabricados com grande rigor dimensional, usando limites de tolerância muito apertados;
- Os componentes apresentam excelente acabamento superficial;
- Podem ser utilizadas diferentes resinas;

- Apresenta uniformidade de espessura, o que resulta numa contracção homogénea de todo o *compound*;
- Custo do equipamento é baixo comparado com outros processos de fabrico;
- Baixo nível de emissões de voláteis durante o processo;
- Capacidade de produzir componentes com as dimensões muito próximas da final, permitindo assim reduzir o desperdício de material;
- O processo é automatizado, resultando em elevadas taxas de produção;
- Permite moldar formas extremamente complexas;
- É um processo extremamente rápido;

3 Metodologia Lean Six Sigma

Na indústria dos componentes microelectrónicos tem-se verificado um grande aumento na concorrência. Devido a essa concorrência o valor de cada componente tem vindo a diminuir progressivamente, o que obriga a um esforço por parte das empresas para aumentar a produção mas sem diminuir a qualidade dos seus produtos.

Nesta indústria é muito importante controlar e melhorar todas as etapas do processo para diminuir a variação do processo, eliminando ao máximo os produtos não conformes, para tal, existem diversas ferramentas da qualidade que têm sido aplicadas com sucesso.

O Lean Six Sigma é uma dessas ferramentas da qualidade, e está a ser aplicada na área de Mold BOC na Qimonda PT. A ferramenta, como o nome indica, apoia-se em duas abordagens de melhoria de processos o Lean e o Seis Sigma que vêm sendo largamente empregues no mercado como sistemas de melhoria nos processos, tendo como objectivo melhorar os resultados financeiros e a competitividade das empresas.

É uma filosofia de gestão assente num conjunto de metodologias e ferramentas, focaliza-se na análise e medição de desperdícios e na variabilidade dos processos de uma empresa. Os seus grandes objectivos são [8]:

- Redução de custos, eliminando desperdícios;
- Aumento da robustez e da velocidade dos processos, reduzindo erros e defeitos;
- Aumento da qualidade dos produtos e serviços assente numa metodologia de melhoria contínua;
- Dotar as empresas de uma metodologia e de ferramentas para avaliação e resolução de problemas de forma continuada e sustentada;



Figura 14: objectivos do Lean Six Sigma

3.1. Seis Sigma

O seis sigma é uma metodologia baseada numa estratégia disciplinada e altamente quantitativa, caracterizada por uma abordagem sistemática, que tem como objectivos reduzir custos, aumentar e melhorar a eficiência da organização, por meio da optimização de processos e produtos, com o consequente aumento do nível de satisfação do cliente.

No início dos anos 80, a Motorola concentrou-se em melhorar a qualidade de forma a resistir à concorrência japonesa, utilizando um movimento que se baseava no recurso de ferramentas estatísticas para a resolução de problemas, Bill Smith baptizou esse movimento como Seis Sigma [9].

Definindo em poucas palavras, o método Seis Sigma consiste na aplicação de métodos estatísticos a processos empresariais com o objectivo de eliminar defeitos. A indústria de componentes microelectrónicos opera a níveis muito baixo de defeitos, como se pode observar na tabela 3, o Seis Sigma gera apenas 3,4 defeitos por milhão de unidades produzidas [10].

Tabela 3: defeitos por milhão para os diferentes níveis de capacidade de um processo

Nível da qualidade	Defeitos por milhão (ppm)	Factor Percentual	Custo de qualidade
2 sigma	308.537	69,15	Não se aplica
3 sigma	66.807	93,32	25 a 40%
4 sigma	6.210	99,3790	15 a 25%
5 sigma	233	99,97670	5 a 15%
6 sigma	3,4	99,999660	< 1%

O Seis Sigma não se ocupa da qualidade de uma maneira tradicional, ou seja da conformidade com as normas e os requisitos internos, procura redefinir a qualidade como o valor agregado por um esforço produtivo com o objectivo da empresa de alcançar os seus objectivos estratégicos. Cada vez que ocorre um erro a empresa gasta tempo, recursos e dinheiro para corrigi-lo, isso quer dizer que ao projectar e produzir quase sem defeitos, ou a prevenir a possibilidade de erros, uma empresa está a poupar imenso dinheiro.

É importante fazer a diferenciação entre os erros esporádicos e persistentes que costumam acontecer num processo. Alguns erros são resultado de erros esporádicos, por outras palavras, na maioria dos casos os processos trabalham dentro do patamar esperado, mas ocasionalmente desviam-se do seu desempenho habitual. As empresas costumam resolver de

maneira eficiente este tipo de erros. Contudo, isso não melhora os níveis de qualidade da empresa porque na realidade não são esse tipo de erros que diminuem o lucro da empresa mas sim os erros persistentes, crónicos e “ocultos” [10].

A finalidade da implementação do sistema Seis Sigma é de reduzir o desperdício ao mínimo, ajudando as empresas a produzir mais rapidamente bens e serviços, diminuindo os custos. Genericamente este sistema concentra-se em três áreas:

- Prevenção de defeitos;
- Redução do ciclo produtivo;
- Redução de custos.

A razão do sucesso do Seis Sigma assenta em três pontos fundamentais:

- Medida directa dos benefícios do programa pelo aumento do lucro da empresa;
- DMAIC – método estruturado para alcance de metas;
- Elevado envolvimento da alta administração da empresa;

Para se garantir o sucesso desta metodologia tem portanto que se assentar em factos e dados concretos para tomar decisões e medir os progressos obtidos em direcção a um objectivo definido.

O Seis Sigma é um método sistemático, ou seja, segue um conjunto de ferramentas agrupadas que se tornam muito mais eficazes do que se utilizadas isoladamente. O modelo DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Implementar e Controlar), é o mais frequentemente utilizado nos projectos Seis Sigma [8].

Este modelo está focado na robustez e simplificação dos processos de forma a assegurar a redução dos defeitos, o aumento da satisfação dos clientes e aumento do lucro da empresa. De forma sucinta, em seguida encontra-se uma explicação dos objectivos a alcançar em cada passo deste modelo.

- **Definir:** na fase inicial convém definir com precisão as metas das actividades a melhorar, pois elas serão os objectivos estratégicos da empresa.

São feitas pesquisas para saber quais as características essenciais para o cliente – variáveis “Y” mais importantes.

No âmbito operacional, uma meta a atingir pode ser o aumento de produção de determinado departamento. No de projectos, podem ser a redução do número de defeitos e o aumento de produção.

Deve-se dar um maior grau de importância às actividades que podem resultar em maior lucro no menor período de tempo possível [10,11].

- **Medir:** fazer a tradução das variáveis críticas do cliente para as variáveis críticas do produto. Determinar a localização ou foco do problema. Deve-se avaliar a confiabilidade dos sistemas de medição existentes.

Devem-se estabelecer parâmetros válidos e confiáveis para ajudar a controlar os progressos para atingir as metas definidas no passo anterior. Deve-se começar por determinar o ponto de partida.

Utilizar a análise de dados exploratória e descritiva para ajudar a entender os dados obtidos [10,11].

- **Analisar:** determinar as variáveis críticas do processo que podem afectar as variáveis críticas do produto, determinar dentro destas as que apresentam uma maior variabilidade para o processo em causa. Fazer uma melhoria das variáveis mais evidentes.

Aplicar ferramentas estatísticas para orientar a análise e assim controlar as melhorias [10,11].

- **Implementar:** aplicar um planeamento experimental para diferenciar as muitas variáveis e triviais das poucas e vitais. Ser criativo para achar novas maneiras de fazer as coisas melhor, de forma mais económica ou mais rápida. Utilizar projectos e outras ferramentas de planeamento para implementar a nova abordagem, empregar ainda métodos estatísticos para validar a melhoria [10,11].

- **Controlar:** é necessário controlar constantemente o novo método. Planear estratégias de monitorização e melhoria contínua das variáveis mais importantes, para que a melhoria do processo tenha um seguimento consistente.

Institucionalizar o sistema aperfeiçoado modificando os sistemas de remuneração e incentivos, política, procedimentos de planeamento de necessidade de material, orçamentos e outros sistemas de controlo que possam ser melhorados.

Pode ser interessante adoptar sistemas como o ISO 9000 para garantir que a documentação se encontra correcta.

O objectivo é garantir o sucesso contínuo das acções implementadas [10,11].

Factores críticos para a implementação do Seis Sigma

Para garantir o sucesso do Seis Sigma é necessário um elevado envolvimento da alta administração da empresa – *liderança top-down*, deve ser o número um da empresa a mostrar interesse nesta metodologia senão esta certamente vai falhar.

Deve haver uma gestão estratégica de mudança associada à implementação do Seis Sigma, os sistemas e a estrutura da empresa devem reflectir e incentivar a cultura desta metodologia.

Os projectos Seis Sigma devem estar associados às metas prioritárias da empresa, a implementação e os resultados alcançados devem ser divulgados em todos os níveis da empresa. Os resultados dos projectos devem ser sempre traduzidos para linguagem financeira e o prazo dos projectos não devem ultrapassar um ano.

3.2. LEAN Manufacturing

O LEAN Production System teve origem no Toyota Production System, frequentemente designado de Just in Time, desenvolvido nos anos 50 e 60 pelo japonês Taiichi Ohno. É um sistema de organização, gestão e desenvolvimento da produção, da qualidade, da logística e dos fornecedores que visa maximizar o valor para o cliente utilizando a menor quantidade de recursos, tais como capitais, mão-de-obra, materiais, equipamento, energia, etc.

Implementar o LEAN é não só uma filosofia de gestão como uma metodologia de mudança. A filosofia de gestão tem como propósito a diminuição dos desperdícios. O LEAN não tem como objectivo fazer alguém trabalhar mais, ou como o Seis Sigma reduzir a variação do processo. Por seu lado, o LEAN foca-se na corrente de valor horizontal de toda a organização de uma empresa. Para demonstrar isto é importante definir os seguintes conceitos [12]:

Tempo de valor acrescentado: é todo o tempo dispensado a:

- Fazer alterações ou melhorias ao produto que está a ser produzido;
- Trazer clara satisfação ao cliente;

Tempo de valor não acrescentado: tempo dispensado que não traz qualquer tipo de vantagem à empresa. Isto inclui diversas actividades como a comunicação, preparação, etc.,

estes tempos são portanto considerados desperdícios. Outra forma de desperdício pode ser considerada qualquer actividade ou material que o cliente não está disposto a pagar.

Tempo de valor não acrescentado mas necessário: são actividades que não acrescentam valor do ponto de vista do cliente mas que são necessárias para produzir o produto, a não ser que todo o processo fosse completamente modificado. Este tipo de desperdício pode ser eliminado a longo prazo, mas dificilmente será eliminado a curto prazo.

LEAN significa “magro” ou “sem gordura”, portanto, este processo aplica-se a processos eficientes, em que as actividades que não acrescentam valor são continuamente reduzidas. O grande objectivo é portanto criar valor, com o mínimo de desperdício [4] [9].

O LEAN define sete “desperdícios” que devem ser identificados:

- **Movimento:** Inclui qualquer tipo de movimento desnecessário efectuado pelo operador que o desvie do processo produtivo efectivo. Muitos movimentos são inúteis aumentando o cansaço e a distração.

Por exemplo, o movimento à procura de ferramentas, materiais, documentos, etc., pode provocar deslocações desnecessárias que vão aumentar o tempo não-produtivo. Boas condições de ergonomia e segurança diminuem este tipo de desperdício [9].

- **Processo:** O grande problema nesta área é a falta de standardização. Muitas vezes perde-se muito tempo a tentar inventar a roda, quando ela já foi inventada à muito, perde-se muito tempo a tentar reinventar um processo que já é eficiente [12].

Alguns exemplos de desperdícios de processo são:

- Montar uma peça que mais tarde vai ser novamente desmontada;
- Utilizar ferramentas ou equipamento não adequado;
- Rebarbar ou limpar partes desnecessárias de uma peça;

- **Transporte:** Inclui qualquer tipo de movimento de materiais que não acrescentem valor ao produto final, como mover materiais entre postos de trabalho. A ideia é que o material transportado entre postos de trabalho deve apontar para um ideal, que é o output de um processo é imediatamente utilizado como input do processo seguinte. O transporte entre as etapas do processo resulta no aumento dos tempos de

produção, quando o transporte não pode ser eliminado deve ser concentrado numa função normalizada de aprovisionamento [9,13].

- **Produção em excesso:** Este desperdício acontece quando se produz mais ou mais cedo do que o necessário para o cliente (externo ou interno). Isto aumenta o risco de degradação, de produzir algo errado ou ainda a possibilidade de ter que vender a um preço mais baixo ou ter que ser transformado em sucata.
Contudo, existem situações em que é benéfico produzir material em excesso, mesmo na produção LEAN [9].
- **Defeitos:** Sempre que um produto não está conforme as especificações, apresenta diversas desvantagens, como consumo de matérias-primas e componentes, o tempo gasto a produzir esses componentes nunca vai ser possível recuperar. Para não haver queixa e possível perda de um cliente, terá que se aumentar a inspecção ao produto necessitando assim de mais pessoal e tempo [9].
- **Espera:** Isto engloba tempo de espera por material, informação, equipamento, ferramentas, etc., qualquer tipo de espera representa um aumento de custos, o sistema LEAN exige que todos os recursos sejam entregues com base no sistema Just-in-time [9].
- **Excesso de stock:** Ter excesso de stock significa ter matérias-primas, material em produção ou produto final em excesso. Este desperdício pode provocar elevados prejuízos financeiros, pois o material pode-se degradar e leva à ocupação de espaço desnecessário, um dos grandes objectivos LEAN é o da diminuição do espaço necessário para armazenar material [9,13].

A implementação do LEAN Production System obedece às seguintes regras:

- Analisar a cadeia de valor na sua totalidade, caracterizando todas as etapas da cadeia. Depois de toda a cadeia observada definir as acções de melhoria que podem ser tomadas em cada situação obtendo-se assim uma visão melhorada de toda a cadeia de valor;
- Eliminar de imediato as etapas que não acrescentam valor, permitindo assim otimizar o pessoal, o tempo e o orçamento disponível;

- Organizar as áreas de trabalho, tornando assim todo o processo mais rápido e eficaz com a redução de movimentos de pessoas e materiais, reduzindo o tempo gasto e diminuindo os desperdícios;
- Criar fluxo entre as operações e os processos, agrupando as operações de valor acrescentado de forma que o processo decorra numa sequência rápida e sem desperdício. Para que tal suceda deve-se efectuar um controlo da variação do processo e ter-se a maior fiabilidade possível dos equipamentos;
- Integrar a qualidade e as suas diversas ferramentas no processo produtivo;
- Reduzir os tempos de mudança de série, aumentando a flexibilidade;
- Sincronizar a produção com a procura, o mais importante é saber o que o cliente pretende para assim se corresponder da melhor maneira às suas necessidades. Ao saber-se as expectativas do cliente pode-se diminuir o volume de stocks, atribuir-se um valor mais justo e no momento certo ao produto;
- Melhorar continuamente, procurando evitar grandes variações porque com a normalização de todo o processo torna-se bastante mais fácil melhorá-lo;

4 Análise do Problema das Contaminações de Latão

4.1. Contaminação dos Moldes

O molde pode ser contaminado por diversos factores, derrames durante o processo de moldação, as altas temperaturas no molde, oxidação das ligações insaturadas do *mold compound*, impurezas, um número elevado de moldações, etc. [14].

Estas impurezas provocam diversas situações indesejadas durante o processo de moldação, como por exemplo, problemas de adesão, dificuldade de operação, defeitos nos componentes produzidos, corrosão da superfície do molde, etc.

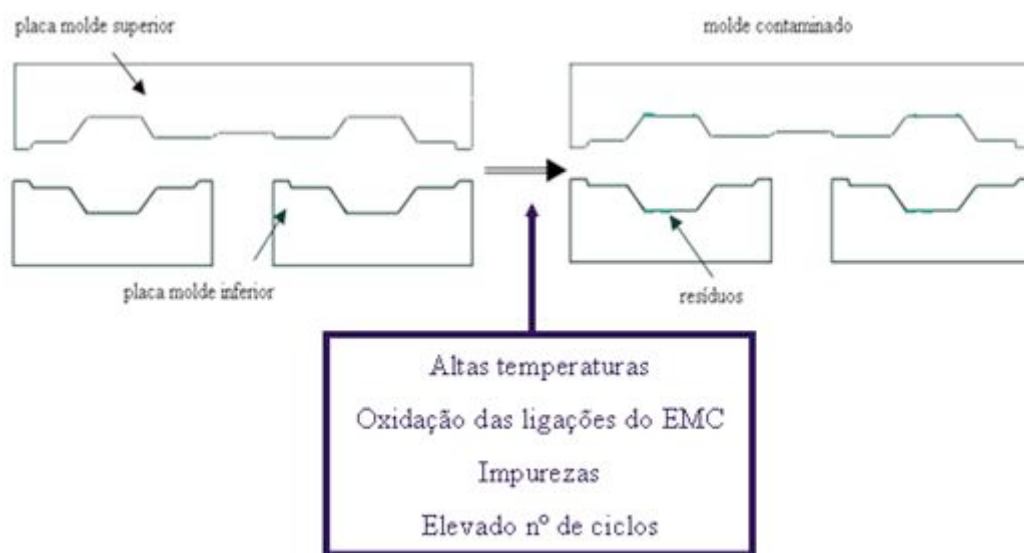


Figura 15: molde contaminado com resíduos [14]

A adesão do polímero e/ou dos seus aditivos ao molde é um dos maiores problemas verificados na moldação com materiais poliméricos. Diversos factores podem influenciar a adesão. Podem ser condições do processo (temperatura, dimensão das partículas, ...), composição e rugosidade da superfície do molde e a energia superficial do polímero e do molde.

Existem poucos estudos na literatura quanto ao uso de revestimentos para facilitar a desmoldação. Na maioria dos casos, a energia superficial tem sido o factor determinante na adesão do polímero a superfícies revestidas. Apesar da energia superficial ser um dos factores que influencia as propriedades de desmoldação, muito continua por explicar para entender completamente os factores que afectam a adesão do polímero ao molde [15].

Critchlow et al. [16], definiu os seguintes factores como os mais relevantes na selecção de um agente desmoldante para a diminuição de adesão do polímero aos moldes:

- a) *Criar superfícies de baixa-energia*, reduzindo as forças intermoleculares atractivas entre o molde e o polímero;
- b) *Mobilidade da superfície*, ao ser aumentada a mobilidade da superfície do polímero reduz-se a possibilidade de uma adesão permanente;
- c) *Estabilidade química e de temperatura*;
- d) *Rugosidade da superfície*, deve ser preenchida pelo agente desmoldante, diminuindo a área superficial específica e possíveis ligações mecânicas do molde ao polímero [16].

Sempre que é necessário alguma intervenção de limpeza nos moldes para remover resíduos ou manchas existentes na sua superfície são utilizados diversos utensílios de latão.

4.2. Contaminações de Latão

Para remover a sujidade das placas de molde, são utilizadas diversos utensílios de latão onde torna-se necessário empregar bastante força para remover os mesmos, o que vai levar a um desgaste dos utensílios (figura 16), libertando partículas de latão que ficam na superfície do molde. Essas partículas durante o processamento dos componentes vão-se misturar com o *mold compound*, esses resíduos como possuem uma cor diferente do componente (dourado em contraste com o preto) são bem visíveis sendo considerados um defeito cosmético, tendo essas unidades que ser rejeitadas, provocando uma grande perda de *Yield*.

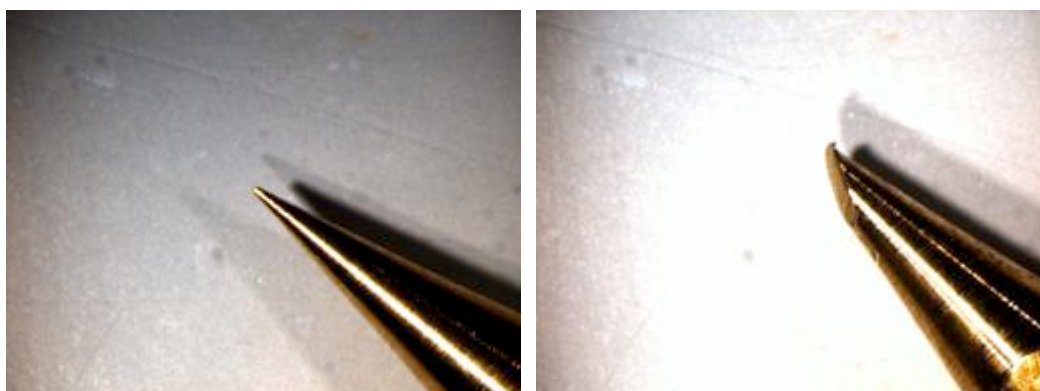


Figura 16: ponteira de latão inicial (esquerda) e depois de ser utilizada no molde (direita)



Figura 17: componente com defeito (resíduos de latão)

Para evitar que esta situação se verifique, a seguir a qualquer intervenção com as ferramentas de latão no molde por parte dos operadores, deve ser realizada uma ou mais moldações com material não conforme, unidades danificadas (*dummies*), para não se contaminar material produtivo, mas devido a um possível incumprimento dos procedimento por parte dos operadores ou por não existir material não conforme disponível verifica-se que são contaminadas várias unidades por dia.

4.3. Limpeza dos Moldes

A limpeza dos moldes deve ser realizada sempre que: se atinge um número elevado de moldações, sempre que a máquina de molde estiver mais de três horas parada e sempre que estes se encontrem sujos e seja necessário remover resíduos que ficam agarrados às placas de moldação, esses resíduos podem ser de *mold compound*, da resina lubrificante, manchas,...

Para efectuar a limpeza dos moldes existem dois processos. O primeiro consiste em executar um procedimento de limpeza com um agente químico específico para moldes de injeção polimérica, este é um processo bastante demorado (cerca de 1 hora). Quando se encontram pequenas quantidades de resíduos não sendo necessária uma limpeza tão prolongada, a limpeza é manual e realizada pelos operadores, com recurso a ferramentas de latão específicas para este efeito.

4.4. Limpeza Química

Este é um processo de limpeza em que é utilizado um produto específico para limpeza de moldes de injeção polimérica, é um processo algo demorado, e é realizado sempre que:

- São atingidas no máximo 500 moldações;
- Forem detectados problemas de qualidade generalizados ou permanentes no produto que se devam a sujidade nos moldes;
- A máquina de molde esteja parada mais de 3 horas, após ter estado em produção;

A etapa de limpeza inicia-se com a preparação do material de limpeza já estabilizado (*compression*). O mecanismo de limpeza consiste em realizar algumas moldações com esse produto de limpeza, a sua colocação no molde deve ser a seguinte [17]:



Figura 18: colocação do material de limpeza no molde

O material é moldado e sofre o processo de cura durante 300 segundos. Em seguida, deve-se verificar se ficou material de limpeza agarrado ao molde e removê-lo com as ferramentas de latão se tal acontecer.

Este sistema de limpeza possui um efeito de limpeza dividido em três etapas, descritas em seguida.

1. Efeito de adesão

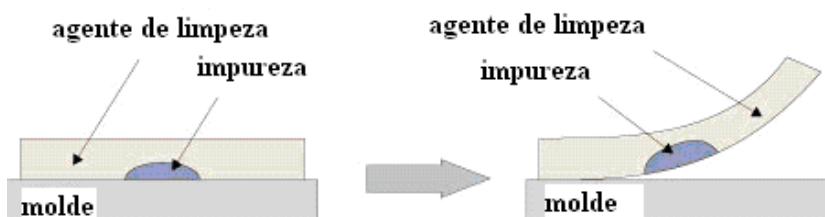


Figura 19: efeito de adesão realizado pela agente de limpeza

O agente de limpeza quando é aquecido torna-se fluido aderindo a toda a superfície do molde e às impurezas presentes, durante o processo de cura essas partículas ficam agarradas tornando assim bastante fácil a sua remoção [18].

2. Efeito de trituração

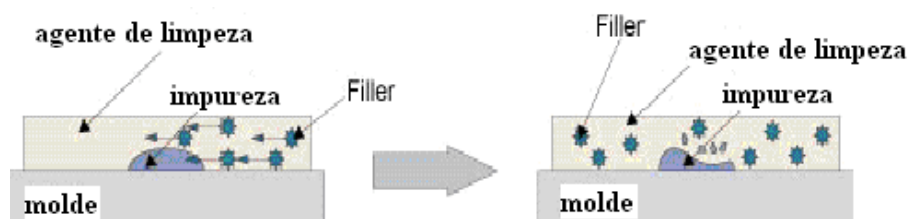


Figura 20: efeito de trituração realizado pela agente de limpeza

O agente de limpeza possui ainda outros aditivos que vão triturando e dissolvendo as impurezas para estas ficarem mais pequenas e com uma menor adesão ao molde, sendo assim mais fáceis de remover [18].

3. Efeito penetrante



Figura 21: efeito penetrante realizado pela agente de limpeza

O agente de limpeza possui ainda um aditivo que tem como função penetrar na impureza inchando-a, diminuindo assim a força de adesão entre a partícula e o molde permitindo uma mais fácil remoção pelo efeito de adesão referido na primeira etapa [18].

É necessário repetir este ciclo no mínimo cinco vezes, pode ser necessário efectuar mais ciclos se o molde ainda se encontrar sujo.

Quando o molde se encontrar devidamente limpo prossegue-se o ciclo utilizando um material que tem como função lubrificar o molde (*conditioning*).

O *mold compound* já possui na sua constituição agentes desmoldantes, mas estes não são suficientes para permitir uma correcta desmoldação dos componentes moldados, portanto, este

produto lubrificante possui na sua constituição agentes específicos que têm como função lubrificar a superfície do molde, facilitando a desmoldação dos componentes evitando que o *mold compound* fique colado às paredes do molde. O procedimento é idêntico ao realizado para o material de limpeza colocando-se apenas mais uma tira deste material na zona central do molde [17].



Figura 22: colocação do material lubrificante no molde

Com este material é necessário repetir o ciclo no mínimo duas vezes. Depois da última moldação deve-se efectuar uma inspecção visual ao molde para verificar se não ficaram resíduos de material de limpeza ou lubrificante agarrados ao molde.

Após esta operação deve-se limpar a superfície do molde com um pano, de forma a retirar algumas marcas do material de lubrificação que possam ter ficado na sua superfície, não se deve raspar ou escovar o molde, para não ocorrerem contaminações com latão nem retirar a película de lubrificação [17].

Finalmente, deve-se efectuar uma moldação com material não conforme (*dummies* com ou sem chip), esta moldação serve para eliminar possíveis resíduos de latão existentes, assim estes ficam nestes produtos já danificados e não em material produtivo [17].

Após o processamento estes substratos devem ser inspeccionados para verificar a qualidade da superfície, se for necessário, utilizar as ferramentas de latão para remover qualquer partícula ou sujidade ainda existente na superfície do molde.

Em resumo, o procedimento de limpeza envolve as seguintes etapas:

Tabela 4: condições para o procedimento de limpeza [17]

	Limpeza	Lubrificante	Material não conforme
Objectivo	Remover partículas de toda a superfície	Lubrificar o molde	Remover resíduos de latão e verificar a efectividade da limpeza
Material	Compression Cleaning GT Clean GTC-3000	Conditioning Nitto N-CS-D 3500	<i>Mold compound</i> específico de cada componente
Procedimento	Antes da primeira moldação, usando as ferramentas de latão, raspar e depois escovar toda a superfície do molde; Colocar as tiras do material de limpeza sobre as cavidades e a zona central do molde; Não usar mais as ferramentas de latão na superfície das cavidades;	Colocar as tiras de lubrificante sobre as cavidades e a zona central do molde; Não escovar nem usar as ferramentas de latão na superfície das cavidades, no final das moldações; Usando um pano, remover cuidadosamente todos os resíduos de lubrificante que possam ter ficado na superfície do molde; Usando as ferramentas de latão, retirar os resíduos dos orifícios de vácuo;	Processar uma moldação conforme instruções para cada caso; Inspeccionar e identificar possíveis sujidades não removidas; Verificar o estado dos “<i>air vents</i>” para garantir uma completa desobstrução;
Nº mínimo de moldações	5	2	1
Critério de aceitação	Superfície do molde brilhante e sem manchas; As placas de limpeza deverão sair brancas semelhantes à original;	Superfície do molde brilhante e sem manchas;	Sem defeitos;

4.5. Limpeza manual

Este processo de limpeza é efectuado quando não é necessária uma limpeza tão profunda e demorada como é a do processo referido anteriormente, quando se encontram pequenos resíduos no interior do molde, esses resíduos podem ser de *mold compound* ou de resina lubrificante, e ainda se existirem manchas no molde.

A limpeza do molde é normalmente realizada pelos operadores no local, em situações que seja necessária uma intervenção mais profunda pode ser necessário remover o molde e a limpeza nestas situações é efectuada pelos técnicos. As ferramentas utilizadas são exactamente as mesmas sendo que a grande diferença está na dificuldade evidenciada pelos operadores, pois a posição de trabalho é naturalmente mais complicada e o espaço para realizar o trabalho bastante mais reduzido.

As ferramentas utilizadas são todas em latão e qualquer outro tipo de material é estritamente proibido de ser utilizado no interior do molde, o uso do latão explica-se por este ser um material pouco duro que não risca o molde, que seria algo bastante mais prejudicial que as contaminações. As ferramentas utilizadas são variadas servindo para cada situação específica, na figura 23 pode-se observar os diferentes utensílios de latão que estão à disposição dos operadores para serem empregues nas limpezas do molde.



Figura 23: utensílios de latão utilizados em intervenções no molde

As formas dos utensílios deve-se às diversas utilizações e dos locais do molde em que é necessário intervir com os mesmos, em seguida, fica uma pequena explicação das situações em que cada utensílio é empregue.

- **Escovas**

As escovas são utilizadas para remover possíveis partículas dos moldes antes da etapa de limpeza, como estas só são utilizadas antes do procedimento de limpeza não se torna tão crítica a sua utilização, pois as possíveis contaminações vão ser removidos durante o processo de limpeza se este for correctamente efectuado.

- **Ponteiras**

Estas ferramentas são habitualmente utilizadas em locais de difícil acesso do molde, como são os “*finger holes*”, que são uns pequenos orifícios que permitem realizar o vácuo no molde, em que é necessário um utensílio bastante afiado e de reduzidas dimensões. A remoção de resíduos de *mold compound* destes locais é uma tarefa bastante complicada para os operadores devido às limitações de espaço existentes e porque o molde se encontra a uma temperatura elevada. Podemos ver na figura 24 a utilização desta ferramenta.

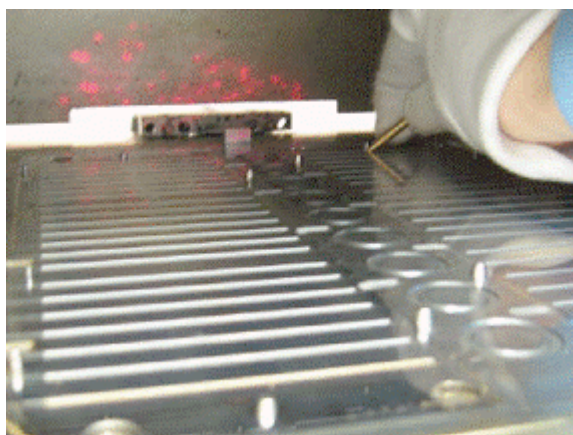


Figura 24: utilização da ponteira de latão no molde

- **Espátulas**

Existem dois tamanhos diferentes para esta ferramenta embora a sua utilização seja idêntica. A espátula maior serve para remover problemas de sujidade ou manchas de maior dimensão em particular na placa superior do molde. As espátulas de menor dimensão têm uma função semelhante às maiores, mas são utilizadas quando os resíduos a remover são menores ou quando a sujidade se encontra nos canais de moldação (*bond channel*), pois o seu tamanho torna-se bastante adequado para estas situações, podemos observar na figura 23 uma situação em que tal sucedeu.



Figura 25: utilização da espátula de latão no molde

4.5.1. Conclusão da Análise ao Processo de Limpeza

O processo de limpeza torna-se um dos principais responsáveis pelas contaminações de latão nos moldes. No processo de limpeza química ocorrem contaminações porque em certas ocasiões é necessário utilizar as ferramentas de latão para remover resíduos de resina lubrificante que ficam agarrados às placas de moldação. Na limpeza manual sempre que as ferramentas de latão são utilizadas e não se realizar uma ou mais moldações com material não conforme, o material produzido vai ser contaminado com partículas de latão.

A identificação de um material alternativo ao latão, torna-se essencial para minimizar ou eliminar as contaminações provocadas pelo uso do latão.

5 Plano de Trabalho na Empresa

Este trabalho, como referido, está inserido no projecto Lean Six Sigma, segundo a metodologia DMAIC, a primeira etapa consiste em **definir** o projecto. Este projecto tem a duração de seis meses e consiste na diminuição das não conformidades na área de Molde BOC. Este trabalho está inserido no projecto e consiste na eliminação de uma não conformidade, as contaminações por latão, que se apresenta como o segundo modo de falha mais representativo (ver figura 29). Em colaboração com a equipa de engenharia da área de molde foi decidido que a resolução deste problema seria encontrar outro material para ser utilizado nas intervenções nos moldes.

A fase seguinte do projecto consiste em **medir** a dimensão do problema. Para tal, utilizaram-se ferramentas estatísticas, para se quantificar e verificar a influência que as contaminações de latão teriam nas não conformidades que ocorrem na área de molde BOC. Neste projecto foi estudado apenas um produto, o 512M T80.

Após este estudo, iniciou-se a **análise** do problema e tentativa da sua resolução. Foram pensadas duas alternativas distintas para resolver o problema das contaminações de latão: uma seria arranjar maneira de ter sempre *dummies* disponíveis na área de produção, para assim se realizarem as moldações necessárias com este material e não se contaminar material produtivo.

A outra opção seria encontrar um material diferente para intervir nos moldes, para efectuar a sua limpeza, pois assim não se gastaria tempo nem material a moldar um componente sem qualquer utilidade. As condições existentes para a selecção do material eram:

- Não poderia provocar riscos;
- Não deveria libertar resíduos que contaminassem as unidades produzidas a seguir à sua utilização;
- Ser resistente a temperaturas elevadas (a temperatura no molde é de 180°C +/- 3°C);
- Fosse economicamente viável;

Os primeiros materiais a serem testados foram materiais já existentes na linha de produção. Optou-se por estes materiais pois se fosse possível a sua utilização facilitaria a sua aprovação e utilização de imediato. Na altura surgiram algumas placas de molde riscadas,

servindo estes testes para demonstrar aos operadores que só deveriam utilizar material que fosse devidamente aprovado pela engenharia. Os materiais escolhidos foram:

- Gitos de moldação. Foram testados os gitos recolhidos a seguir ao processo de moldação, e outros em que foi efectuada uma cura numa estufa a 175°C. A cura foi efectuada para assim o *mold compound* atingir o seu estado de maior dureza;



Figura 26: gito da moldação

- Ponteira de aço inoxidável;



Figura 27: ponteira de aço inoxidável

Os testes foram efectuados num molde em condições reais de produção. A experiência iniciou-se com a etapa de limpeza do molde, em seguida efectuou-se uma primeira moldação que serviria de comparação com as efectuadas a seguir à utilização dos diferentes materiais, verificando se estes libertavam resíduos ou se riscavam os moldes.

Todos os substratos e placas de moldação foram inspeccionados minuciosamente ao microscópio, antes e após a utilização dos diferentes materiais, para verificar se estes provocavam algum tipo de defeito.

Depois de nenhum destes materiais se ter mostrado viável, após pesquisa e discussão com a equipa de engenharia da área de molde optou-se por experimentar um material natural o bambu, pois este é um material que possui alguma resistência ao desgaste e dureza, portanto, possui características apropriadas para a sua utilização nos moldes.



Figura 28: ponteiras de bambu

A experiência realizada com este material foi idêntica à realizada com os materiais anteriores. Os substratos moldados, antes e após a utilização do bambu, foram enviados para o laboratório para se realizar uma análise por Microscopia Auger de Varrimento (SAM), para verificar se existiam resíduos de bambu no interior das unidades produzidas.

6 Análise das Contaminações de Latão

6.1. Resultados

Para iniciar o trabalho prático fez-se a quantificação dos diversos modos de falha na área de molde BOC, no produto 512M T80. Desta análise obteve-se o seguinte diagrama de Pareto.

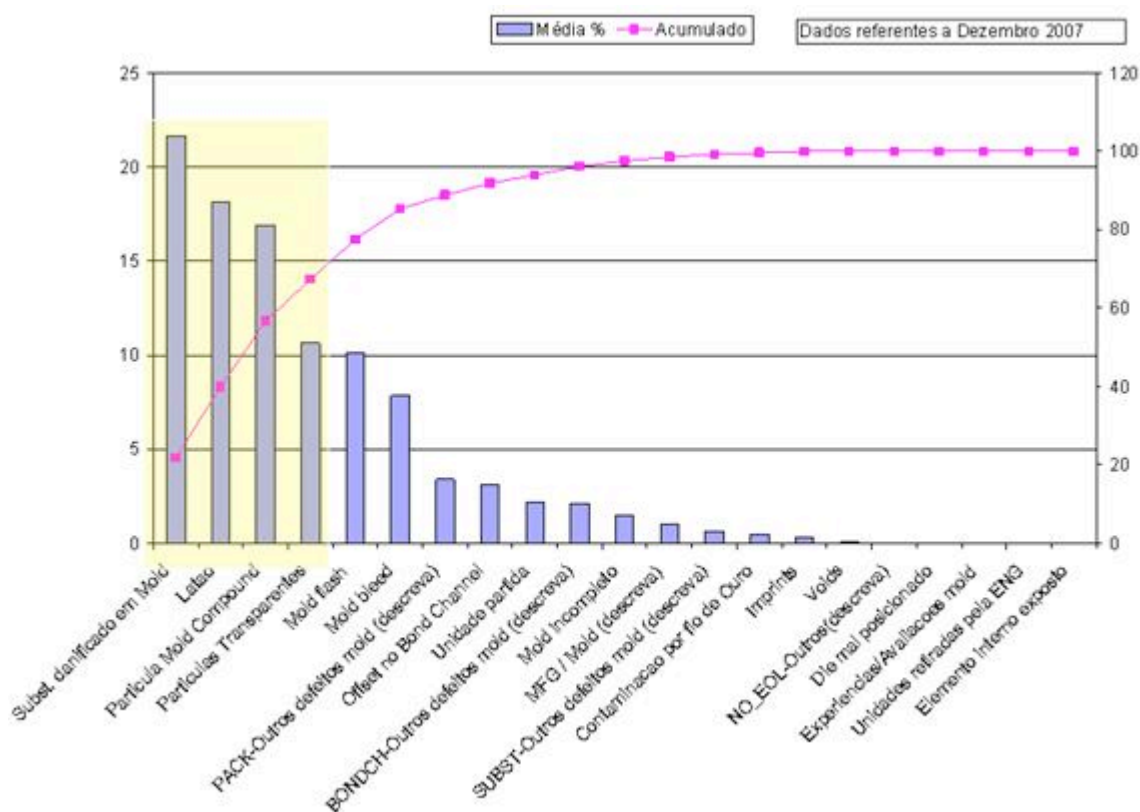


Figura 29: diagrama de Pareto dos modos de falha na área de molde

Da observação do diagrama de Pareto verifica-se a relevância que as contaminações de latão têm na área de molde BOC, pois estas eram a segunda principal causa de não conformidades, com cerca de 18 ppm de unidades rejeitadas no mês de Dezembro de 2007.

Este é um número bastante elevado de unidades rejeitadas, porque só está a ser contabilizado um produto (512M T80), sendo que para os restantes produtos a percentagem é idêntica, as contaminações de latão são uma forte causa de prejuízos para a empresa, daí a necessidade de resolução deste problema.

Como já foi referido, existe um procedimento de limpeza que se fosse integralmente cumprido eliminava as contaminações de latão, mas como se pode observar na figura 30, em

que são analisadas as contaminações pelas diversas equipas, existe uma grande variação entre estas. A explicação para esta situação está no controlo dos *dummies* ser diferente entre as equipas, verificando-se que as equipas que apresentam um maior número de *dummies* disponíveis têm um menor número de contaminações.

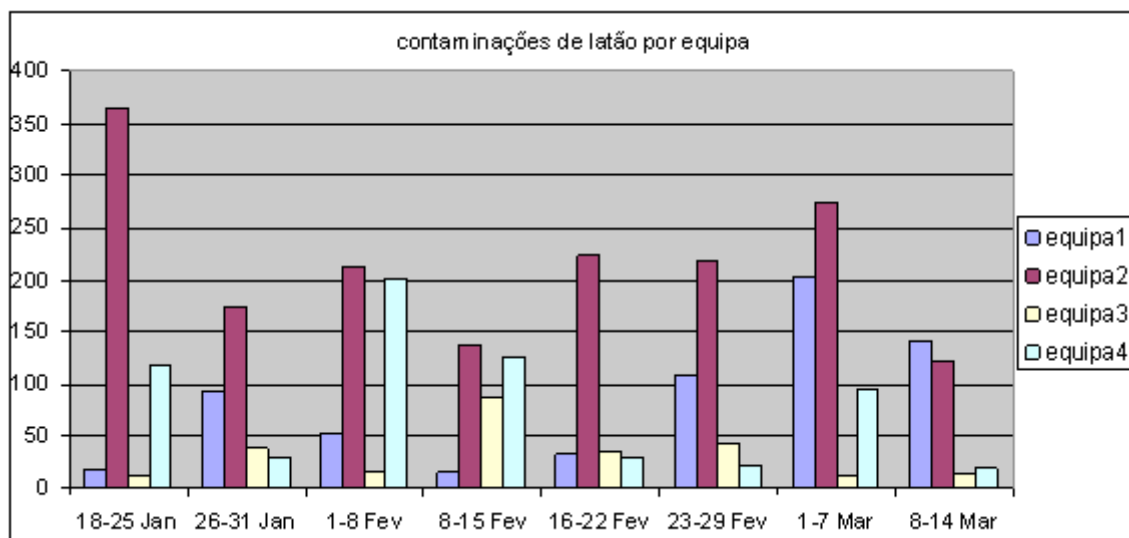


Figura 30: contaminações de latão nas diferentes equipas no produto 512M T80

A falta de *dummies* torna-se um problema bastante relevante na área de molde e por estes não estarem sempre disponíveis, acaba por se contaminar com latão várias unidades de material produtivo, por essa razão, é que a primeira abordagem para a resolução do problema passou por se criar um substrato que servisse como *dummy* e fosse reutilizável, estando assim sempre disponível que fosse necessário.

6.2. Experiência de Substrato Latão

Este substrato teria que ser em tudo idêntico a um componente que é moldado nesta fase do processo, como o único material permitido de entrar nos moldes era o latão, o substrato criado seria em latão como se pode observar na figura 31.



Figura 31: substrato “dummy” de latão

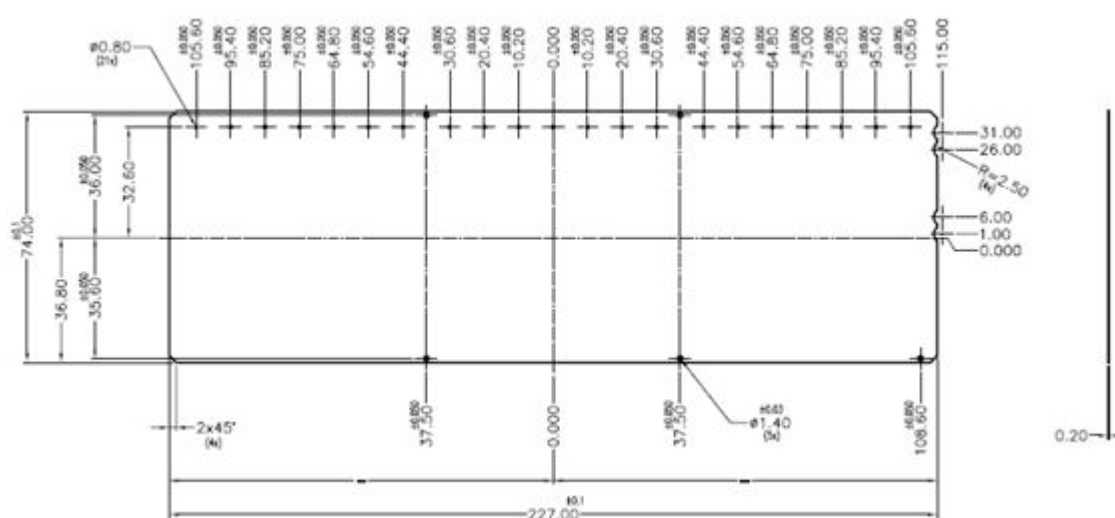


Figura 32: desenho técnico do substrato “dummy”

Foram realizadas diversas moldações utilizando os substratos de latão e verificou-se ser possível a sua utilização. Estes substratos eram moldados da mesma maneira que o material produtivo, verificando-se apenas que a quantidade de *mold compound* poderá não ser suficiente (figura 33), mas para a finalidade a que se destina este substrato parece ser suficiente, pois toda a área do substrato foi moldada, ou seja, as possíveis contaminações com partículas de latão que pudessem existir no molde iriam ser removidas. Os operadores teriam apenas que verificar se uma moldação seria suficiente para remover todas as partículas.

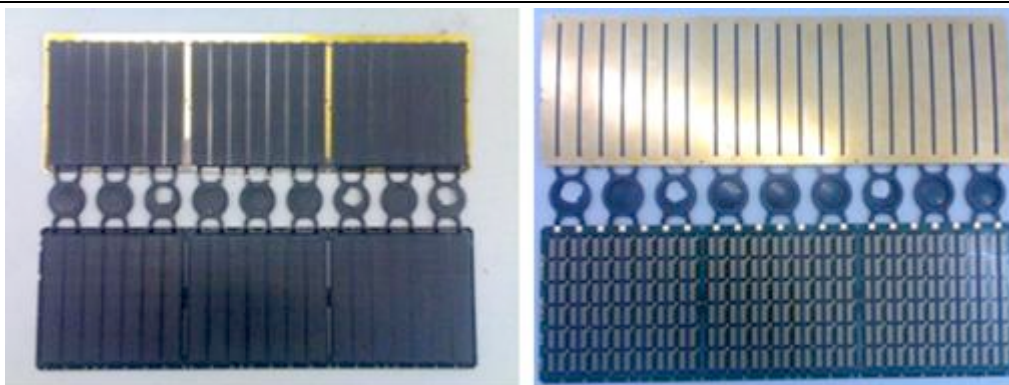


Figura 33: substrato “dummy” (em cima) e substrato normal (em baixo) depois de moldados

Esta pareceu uma boa solução para o problema das contaminações por latão até porque estes substratos poderiam ser utilizados em todos os componentes que possuam substratos com estas dimensões (*STEP3*).

O único inconveniente apresentado está na dificuldade encontrada para remover o *mold compound* da superfície do substrato, este para ser rentável tem que ser reutilizável e ocorreram situações em a remoção ocorreu sem dificuldade, mas nalgumas situações tal não aconteceu, danificando-se o substrato.

6.3. Experiência com Materiais Existentes na Produção

As experiências realizadas em seguida foram desenvolvidas com o intuito de encontrar um material alternativo a ser utilizado nas intervenções de limpeza do molde. Como já foi mencionado, os primeiros materiais a serem testados foram materiais existentes na área de produção.

- **Gito da moldação e ponteira de aço inoxidável**

Realizou-se uma moldação inicial para servir de futura comparação com as moldações realizadas a seguir à utilização dos diferentes materiais no molde.

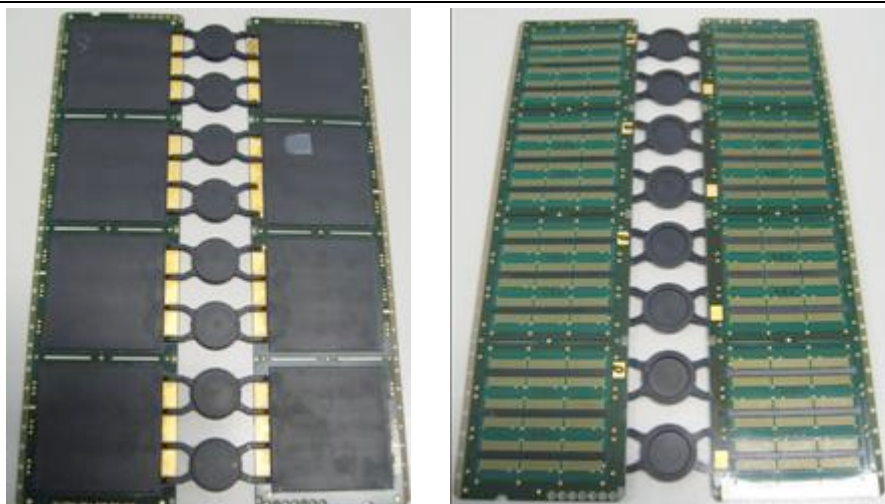


Figura 34: primeiro substrato moldado

Efectuou-se uma inspecção à unidade produzida não se detectando qualquer tipo de defeito relevante para a experiência, ou seja, a unidade produzida encontrava-se sem problemas de riscos ou contaminações.

Em seguida, as placas inferior e superior do molde foram raspadas durante algum tempo e com uma certa intensidade, com os diferentes materiais usados nesta experiência a serem utilizados nas diferentes matrizes, de acordo com a figura 35:

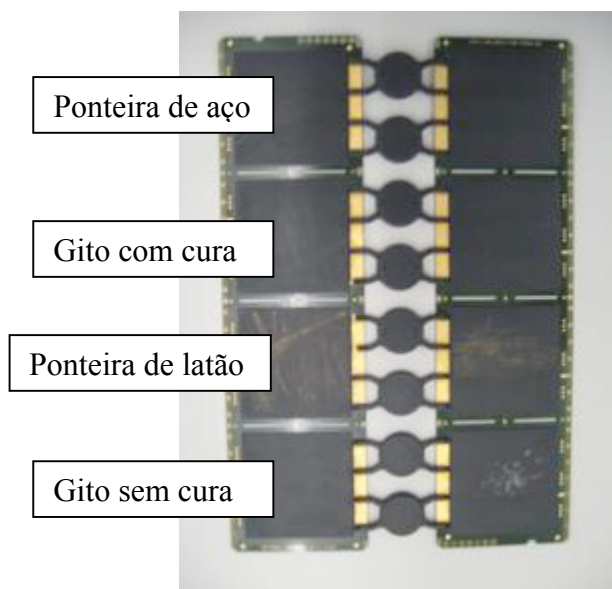


Figura 35: substrato após a utilização dos diferentes materiais

Realizaram-se então mais duas moldações para verificar as consequências da utilização de cada material. Através da inspecção ao microscópio era possível verificar se estes materiais provocavam algum tipo de defeito, e se tal ocorresse se os efeitos seriam apenas visíveis na

moldação seguinte (contaminações), ou se as consequências seriam permanentes e portanto mais graves (riscos).

Dos diferentes materiais utilizados para intervir nos moldes pode-se concluir que o latão e os gitos (com e sem cura) têm uma dureza bastante inferior à do molde (tabela 4). Após a sua utilização, como se pode observar nas figuras 16 e 36, estes materiais ficaram bastante danificados, o que explica os resíduos de latão presentes no molde sempre que são utilizados.

Tabela 5 – microdureza Vickers dos materiais utilizados

Material	Microdureza Vickers
Molde	680
Latão	155
Gito sem cura	65
Gito com cura	85



Figura 36: gito de moldação após raspar o molde (direita)

Os moldes utilizados na experiência foram então removidos e efectuou-se uma inspecção para verificar se existiam riscos ou outro tipo de defeito na sua superfície e foi possível tirar as seguintes conclusões em relação aos diferentes materiais utilizados.

As ferramentas de latão que são usadas neste momento para qualquer intervenção nos moldes apresentam as desvantagens já conhecidas: as contaminações que ficam presentes sempre que este material é utilizado. As contaminações estavam presentes mesmo após duas moldações, o que vem comprovar que por vezes é necessário mais que uma moldação com os *dummies* para eliminar todos os resíduos de latão.



Figura 37: resíduos de latão no bond channel

O uso dos gitos apresenta um grande inconveniente, pois o *mold compound* é um compósito que possui na sua composição sílica (cerca de 70%), que é um material extremamente duro, por isso ao raspar os moldes com este material é possível que os grãos de sílica riscuem a placa molde. Este é um problema que sucede tanto nos gitos sem processo de cura como nos que efectuaram o processo de 2 horas de cura, como se pode observar na figura 38, os riscos provocados por este material eram extremamente finos, evidenciando que são os grãos de sílica presentes no *mold compound* que provocam os riscos.



Figura 38: risco no bond channel provocado pelo gito

Por último, e como seria de esperar a ponteira de aço inoxidável provocou um maior número de riscos e com maior profundidade que eram facilmente observados por toda a área onde foi utilizada esta ferramenta.



Figura 39: risco no bond channel provocado pela ponteira de aço inoxidável

Com esta experiência verificou-se que nenhum destes materiais poderia ser utilizado para limpar os moldes, pois provocariam riscos, e foi emitido um aviso a todas as equipas para cumprirem o procedimento de limpeza, e que o único material permitido para qualquer intervenção nos moldes continuava a ser o latão e que não poderiam utilizar outro material.

6.4. Experiência com Bambu

A experiência foi em tudo idêntica à realizada anteriormente mas agora foi utilizado um material natural, o bambu, para realizar a limpeza do molde. A primeira experiência realizada foi para verificar se este material poderia riscar o molde ou se libertava resíduos, e os resultados foram bastante satisfatórios. O bambu comprovou-se que não riscava as placas molde, mesmo se realizada bastante força na sua utilização. O único inconveniente encontrado foi que o bambu também liberta resíduos, como se pode verificar na figura 40, mas verificou-se que esses resíduos eram facilmente removidos com o uso do aspirador.

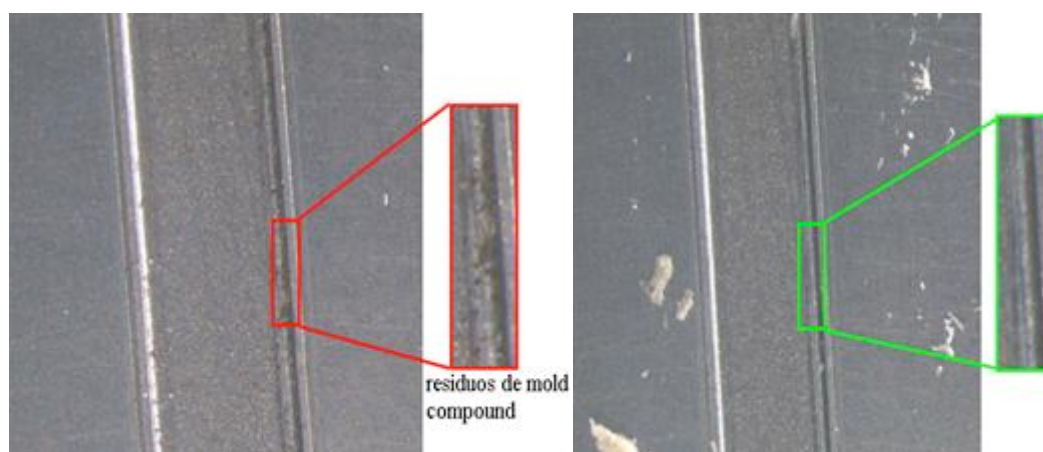


Figura 40: bond channel do molde com resíduos de mold compound (esquerda), depois da utilização das ponteiras de bambu (direita)

Após se constatar que este material não provocava defeitos na superfície do molde, efectuaram-se mais alguns testes para verificar se este era um bom material para efectuar a limpeza dos moldes. Para tal, o molde foi contaminado intencionalmente com resíduos de *mold compound* e lubrificante, os resultados obtidos foram mais uma vez bastante positivos, pois os moldes depois da intervenção com o bambu nos locais contaminados ficaram sem qualquer resíduo.

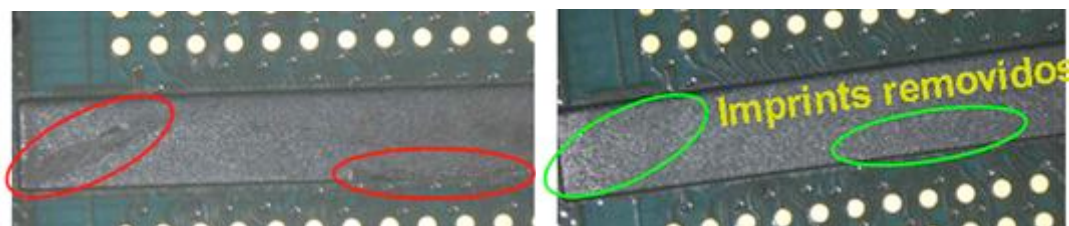


Figura 41: substrato com sujidade (esquerda), depois da utilização das ponteiros de bambu (direita)



Figura 42: ponteiros de bambu depois de utilizadas

Para garantir que os resíduos de bambu eram aspirados e não contaminariam as unidades produzidas após a sua utilização, foram enviados para análise em SAM três substratos, um que serviria como teste antes da utilização das ponteiros de bambu, e outros dois após a utilização do bambu e aspiração dos moldes.

Os resultados obtidos através desta análise foram também bastante positivos, pois obtiveram-se as seguintes conclusões:

- Relativamente à área do *bond channel*, os resultados foram similares para todos os substratos, encontrando-se uma bolha/partícula, mas como foi detectada nos três substratos esta não pode ser do bambu;
- Relativamente ao *mold compound* junto do chip, o substrato em que não foram utilizadas as ponteiros de bambu apresenta um resultado pior em termos de partículas/bolhas;
- Em relação ao *mold compound* na área próxima do substrato não foi observado nada de relevante em termos de partículas nos três substratos;

7 Conclusão

O trabalho efectuado permitiu compreender a complexidade do processo de moldação dos componentes microelectrónicos. Existem diversos modos de falha que devem ser eliminados, para assim se obter uma maior produtividade e qualidade, neste ramo de elevado desenvolvimento tecnológico e em que a competitividade é elevada.

O projecto Lean Six Sigma tem uma elevada importância para a empresa, pois permitiu diminuir as não conformidades na área de Molde BOC com soluções simples mas concretas. Foi neste projecto que se inseriu a resolução de um dos mais relevantes modos de falha da área de molde – as contaminações de latão.

Uma das soluções encontrada foi a criação de um substrato em latão, que seria moldado depois de qualquer intervenção com as ferramentas de latão nos moldes, permitindo que as partículas de latão ficassem neste substrato não contaminando material produtivo.

A outra solução desenvolvida foi um novo material a ser utilizado na limpeza dos moldes. O material é o bambu que se demonstrou ser bastante eficaz na limpeza dos moldes, não deixando contaminações nem provocando estragos nos moldes. O uso deste material vai permitir eliminar o modo de falha contaminações de latão, reduzindo as não conformidades verificadas na área de Molde BOC.

8 Sugestões para Trabalhos Futuros

O objectivo desta experiência foi encontrar um novo material para ser utilizado na limpeza dos moldes. Um trabalho futuro poderá tentar ir à “raiz” do problema, ou seja, tentar identificar as causas que provocam a adesão de partículas de *mold compound* ao molde, evitando assim que seja necessário intervir nos moldes para efectuar a sua limpeza.

Nesse trabalho deve recolher-se resíduos que ficam agarrados ao molde, efectuando-se uma análise aos resíduos, verificando se existe alguma alteração na composição química do *mold compound* que explique essa adesão.

Outra proposta será a alteração da resina lubrificante, existem alguns estudos que avaliam outras resinas que facilitam a desmoldação de materiais poliméricos.

9 Referências Bibliográficas

- [1] – Emerick, Alan, Ellerson, James, McCreary, Jack, Noreika, Ricliard, Woychick, Charles, Enhancement of TSOP Solder Joint Reliability Using Encapsulation, pág.187, 188;
- [2] – Back-End – Assembly of FBGA Semiconductor Components, André Cardoso - Qimonda PT, 2008;
- [3] – Brito, Alírio Cavalcanti, Considerações sobre a utilização de microcircuitos electrónicos encapsulados em plástico nas aplicações de alta confiabilidade;
- [4] - <http://www.siliconfareast.com/moldcomp.htm>, acesso em 10/01/2008;
- [5] – Hitachi Chemical, Epoxy Molding Compound, Semiconductor Material Business Unit Minamiyuuki Production Center;
- [6] – Paquet, Marie-Claude, Molding Challenges of LOC Packages with Large Devices;
- [7] – Plastics Engineering Handbook, of the Society of the Plastics Industry, 3rd. Edition, Van Nostrand Reinhold Company;
- [8] – Lean Six Sigma, Sistemas de Melhoria de Performances 2007, CopiRisco Thinking and Performing;
- [9] – Curso de Lean Six Sigma, Green Belt, Qimonda PT 2007, Lean Consulting;
- [10] – Bruno Dias, Filipe Gomes, João Branco, 6 Sigma, Escola Superior Tecnologia Setúbal;
- [11] – Oliveira, Geraldo Nilton, A Metodologia DMAIC: uma alternativa robusta para a melhoria de processos, Monografia Minas Gerais, 2005;
- [12] – LEAN on IT: Applying LEAN Manufacturing Principles Across the IT Organization, David P. Spencer, Gerard Plenert, Infosys Technologies Limited, 2007;

-
- [13] – Mekong Capital’s Introduction to Lean Manufacturing;
- [14] – Melanine Molding Cleaning Compound, TRICO incorporation, 2003;
- [15] – Navabpour, P., Teer, D.G., Hitt, D.J., Gilbert, M., Evaluation of non-stick properties of magnetron-sputtered coatings for moulds used for the processing of polymers;
- [16] – Critchlowa, G.W., Litchfielda, R.E., Sutherlanda, I., Grandya, D.B., Wilsonb, S., A review and comparative study of release coatings for optimized abhesion in resin transfer moulding applications, International Journal of Adhesion & Adhesives 26 (2006) 577-599;
- [17] – Procedimentos de limpeza de tools de mold BOC, Qimonda PT, 2007;
- [18] - <http://www.carbide.co.jp/EN/resin/ecr/ecr.html>, acesso em 07/01/2008;