

Sistemas de montagem automatizados

CONTEÚDO DO CAPÍTULO

- 17.1 Fundamentos dos sistemas de montagem automatizados
 - 17.1.1 Configurações de sistema
 - 17.1.2 Distribuição de peças nas estações de trabalho
 - 17.1.3 Aplicações
- 17.2 Análise quantitativa dos sistemas de montagem
 - 17.2.1 Sistema de distribuição de peças nas estações de trabalho
 - 17.2.2 Máquinas de montagem multiestação
 - 17.2.3 Máquinas de montagem de estação única
 - 17.2.4 Automação parcial
 - 17.2.5 O que as equações nos dizem

O termo *montagem automatizada* se refere ao uso de dispositivos mecanizados e automatizados para realizar as diversas tarefas de montagem em uma linha ou célula de montagem. Houve muito progresso na tecnologia de automação de montagem nos últimos anos, parte motivada por avanços no *campo da robótica* — algumas vezes os *robôs industriais* são usados como componentes nos sistemas de montagem automatizados (Capítulo 8). Neste capítulo, abordamos a *montagem automatizada* como uma área distinta da automação. Embora os métodos de montagem manuais descritos no Capítulo 15 ainda sejam usados por muitos anos no futuro, existem grandes oportunidades para ganhos de produtividade no uso dos métodos automatizados.

Assim como as linhas de transferência discutidas no capítulo anterior, os *sistemas de montagem automatizados* normalmente estão incluídos *na categoria da automação rígida*. Em sua maioria, *são projetados para realizar uma sequência fixa de etapas de montagem em um produto específico*. Essa

tecnologia de *montagem automatizada deve ser considerada quando da existência das seguintes condições*:

- *Alta demanda de produto*. Produtos fabricados em milhões de unidades (ou próximo dessa faixa).
- *Projeto de produto estável*. Em geral, qualquer mudança no projeto do produto significa uma mudança na ferramental da estação de trabalho e possivelmente na sequência das operações de montagem, o que pode ser extremamente caro.
- *Número limitado de componentes na montagem*. Riley [13] recomenda um máximo em torno de *uma dúzia de peças*.
- *Produto projetado para montagem automatizada*. Os fatores no projeto de produto que permitem a montagem automatizada devem ser examinados.
Os sistemas de montagem automatizados *envolvem significativo custo de capital*. Entretanto, *os investimentos*

normalmente são menores em comparação às linhas de transferência automatizadas porque (1) as unidades de trabalho produzidas nos sistemas de montagem automatizados geralmente são menores e (2) as operações de montagem não possuem grande força mecânica e exigências de energia das operações de processamento, como usinagem. Portanto, comparando um sistema de montagem automatizado e uma linha de transferência, ambos tendo o mesmo número de estações, o sistema de montagem tenderia a ser fisicamente menor. Isso em geral reduz o custo do sistema.

17.1 FUNDAMENTOS DOS SISTEMAS DE MONTAGEM AUTOMATIZADOS

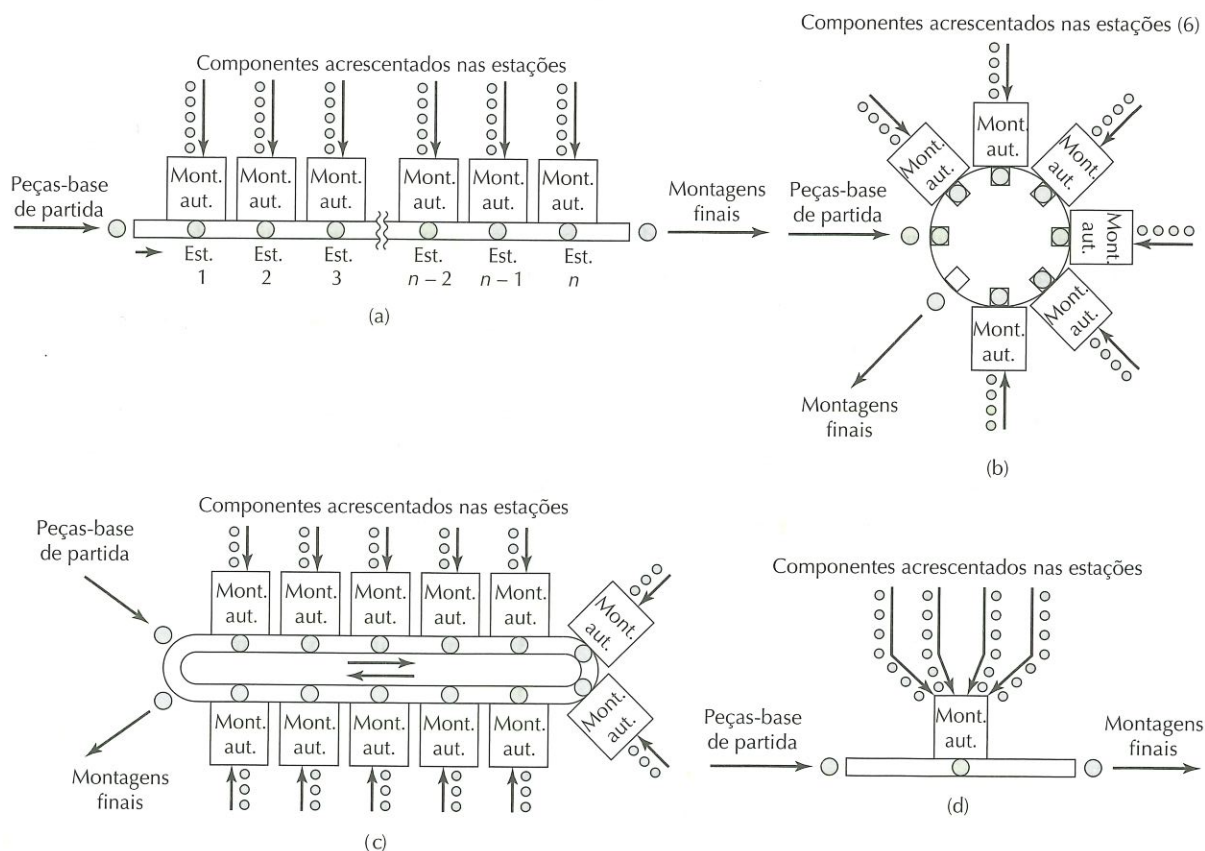
Um sistema de montagem automatizado realiza uma sequência de operações de montagem automatizadas para combinar múltiplos componentes em uma única entidade. Essa entidade única pode ser um produto final ou uma submontagem de um produto maior. Em muitos casos, a entidade montada consiste de uma

peça-base à qual outros componentes são conectados. Os componentes em geral são conectados um de cada vez, de modo que a montagem é completada progressivamente.

Um sistema de montagem automatizado típico consiste dos seguintes subsistemas: (1) uma ou mais estações de trabalho em que as etapas de montagem são realizadas, (2) dispositivos de alimentação de peças que distribuem os componentes individuais para as estações de trabalho e (3) um sistema de manuseio para a entidade montada. Nos sistemas de montagem com uma estação de trabalho, o sistema de manuseio move a peça-base para dentro e para fora da estação. Nos sistemas com várias estações, o sistema de manuseio transfere a peça-base parcialmente montada entre as estações.

As funções de controle exigidas nas máquinas de montagem automatizadas são as mesmas das linhas de produção automatizadas do Capítulo 16: (1) controle de sequência, (2) monitoramento de segurança e (3) controle de qualidade. Essas funções estão descritas na Seção 16.1.4.

Figura 17.1 Tipos de sistemas de montagem automatizados: (a) em linha, (b) mesa rotativa, (c) carrossel e (d) estação única



17.1.1 Configurações de sistema

Os sistemas de montagem automatizados podem ser classificados conforme a configuração física. Suas principais configurações, ilustradas na Figura 17.1, são (a) máquina de montagem em linha, (b) máquina de montagem com mesa rotativa (do inglês, *dial-type machine*), (c) sistema de montagem em carrossel e (d) máquina de montagem de estação única.

A máquina de montagem em linha, Figura 17.1(a), é composta de uma série de estações de trabalho automáticas localizadas ao longo de um sistema de transferência em linha. É a versão de montagem da linha de transferência de usinagem. Os sistemas de transferência síncronos e assíncronos são o meio comum de transportar peças-base de estação para estação com a configuração em linha.

Na aplicação típica da máquina de mesa rotativa, Figura 17.1(b), as peças-base são carregadas nas fixações ou ninhos anexados no disco circular. Os componentes são acrescentados e/ou unidos à peça-base nas várias estações de trabalho localizadas em torno da periferia do disco. A máquina de indexação em disco opera com um movimento síncrono ou intermitente, em que o ciclo consiste do tempo de serviço mais o tempo de indexação. Algumas vezes as máquinas de montagem em disco são projetadas para o uso de um movimento contínuo em vez de intermitente. Isso é comum em fábricas de engarrafamento de bebidas e enlatados, mas não em fábricas de montagem de aparelhos eletrônicos ou mecânicos.

O funcionamento dos sistemas de montagem de mesa rotativa e em linha é semelhante ao de seus correspondentes para as operações de processamento descritas na Seção 16.1.2, exceto em casos em que operações de montagem sejam realizadas. Para a transferência síncrona do trabalho entre estações, o tempo de ciclo ideal é igual ao tempo de operação na estação mais lenta mais o tempo de transferência entre as estações. A taxa de produção, com cem por cento de atividade, é o inverso do tempo de ciclo ideal. Devido a obstruções de peças nas estações de trabalho e outras falhas, o sistema sempre operará com atividade menor que cem por cento. Analisamos o desempenho desses sistemas na Seção 17.2.2.

Como na Figura 17.1(c), o sistema de montagem em carrossel representa uma mistura entre o fluxo de trabalho circular da máquina de montagem em mesa rotativa e o fluxo de trabalho em linha reta do sistema em linha. A configuração em carrossel pode ser operada com mecanismos de transferência contínuos, síncronos ou assíncronos para mover os itens trabalhados em torno do carrossel. Os carrosséis com transferência assíncrona dos itens em geral são usados em sistemas de montagem parcialmente automatizados (Seção 17.2.4).

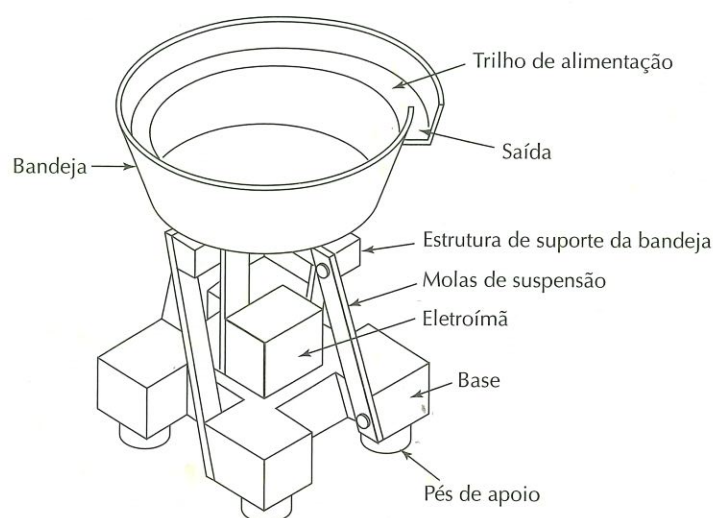
Na máquina de montagem de estação única, Figura 17.1(d), as operações de montagem são realizadas em uma peça-base em um único local. O ciclo operacional típico envolve a colocação da peça-base em uma posição estacionária na estação de trabalho, a adição de componentes à base e, finalmente, a remoção da montagem final da estação. Uma importante aplicação da montagem de estação única é a máquina de inserção de componentes, amplamente usada na indústria eletrônica para inserir componentes em placas de circuito impresso. Para montagens mecânicas, a célula de estação única às vezes é escolhida para aplicações de montagem robótica. As peças são alimentadas na estação única, e o robô as insere na peça-base e realiza operações de fixação. Em comparação aos outros três tipos de sistema, o de estação única é inerentemente mais lento, uma vez que, em cada ciclo, todas as tarefas de montagem são realizadas e apenas uma unidade montada é concluída. Os sistemas de montagem de estação única são analisados na Seção 17.2.3.

17.1.2 Distribuição de peças nas estações de trabalho

Em cada uma das configurações descritas acima, uma estação de trabalho realiza uma ou ambas as seguintes tarefas: (1) uma peça é distribuída para o dispositivo de montagem e acrescentada à peça-base existente em frente a esse dispositivo (no caso da primeira estação do sistema, a peça-base normalmente é depositada no carregador do transportador) e (2) uma operação de fixação ou união é realizada na estação para conectar permanentemente as peças na peça-base. No caso de um sistema de montagem de estação única, essas tarefas são realizadas múltiplas vezes na estação única. A tarefa (1) requer que as peças sejam distribuídas ao dispositivo de montagem. O sistema de distribuição de peças geralmente consiste nas seguintes ferramentas:

1. **Bandeja ou panela** (do inglês, *hopper*). É o recipiente no qual os componentes são carregados na estação de trabalho. Uma bandeja separada é usada para cada tipo de componente. Os componentes em geral são carregados na bandeja em quantidade. Isso significa que nela as peças são orientadas aleatoriamente.
2. **Alimentador de peças**. Mecanismo que remove os componentes da bandeja, um de cada vez, para distribuição ao dispositivo de montagem. A bandeja e o alimentador de peças normalmente são combinados em um único mecanismo operacional. Um alimentador de bandeja vibratória, ilustrado na Figura 17.2, é um exemplo bastante comum da combinação bandeja-alimentador.

Figura 17.2 Alimentador de bandeja vibratório

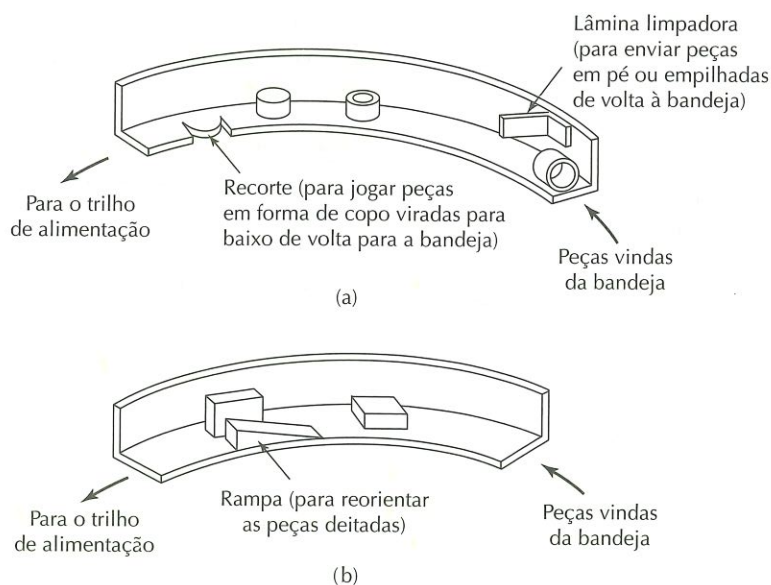


3. **Seletor e/ou orientador.** Elementos do sistema de distribuição que estabelecem a orientação correta dos componentes para o dispositivo de montagem. O **seletor** é um dispositivo que age como filtro, permitindo que apenas as peças na orientação correta passem. As peças incorretamente orientadas são rejeitadas e enviadas de volta para a bandeja. O **orientador** é um dispositivo que permite que as peças corretamente orientadas passem e reorienta as que não estão orientadas corretamente. Esquemas de seletor e orientador são ilustrados na Figura 17.3. Os dispositivos seletores e orientadores normal-

mente são combinados e incorporados em um único sistema bandeja-alimentador.

4. **Trilho de alimentação.** Os elementos anteriores do sistema de distribuição normalmente são separados do dispositivo de montagem por uma certa distância. Um trilho de alimentação move os componentes da bandeja e do alimentador de peças para o local do dispositivo de montagem, mantendo a orientação correta das peças durante a transferência. Existem duas categorias gerais de trilhos de alimentação: por gravidade e motorizados. Os trilhos por gravidade são os mais

Figura 17.3 (a) Seletor e (b) orientador, usados com alimentadores de peças nos sistemas de montagem automatizados

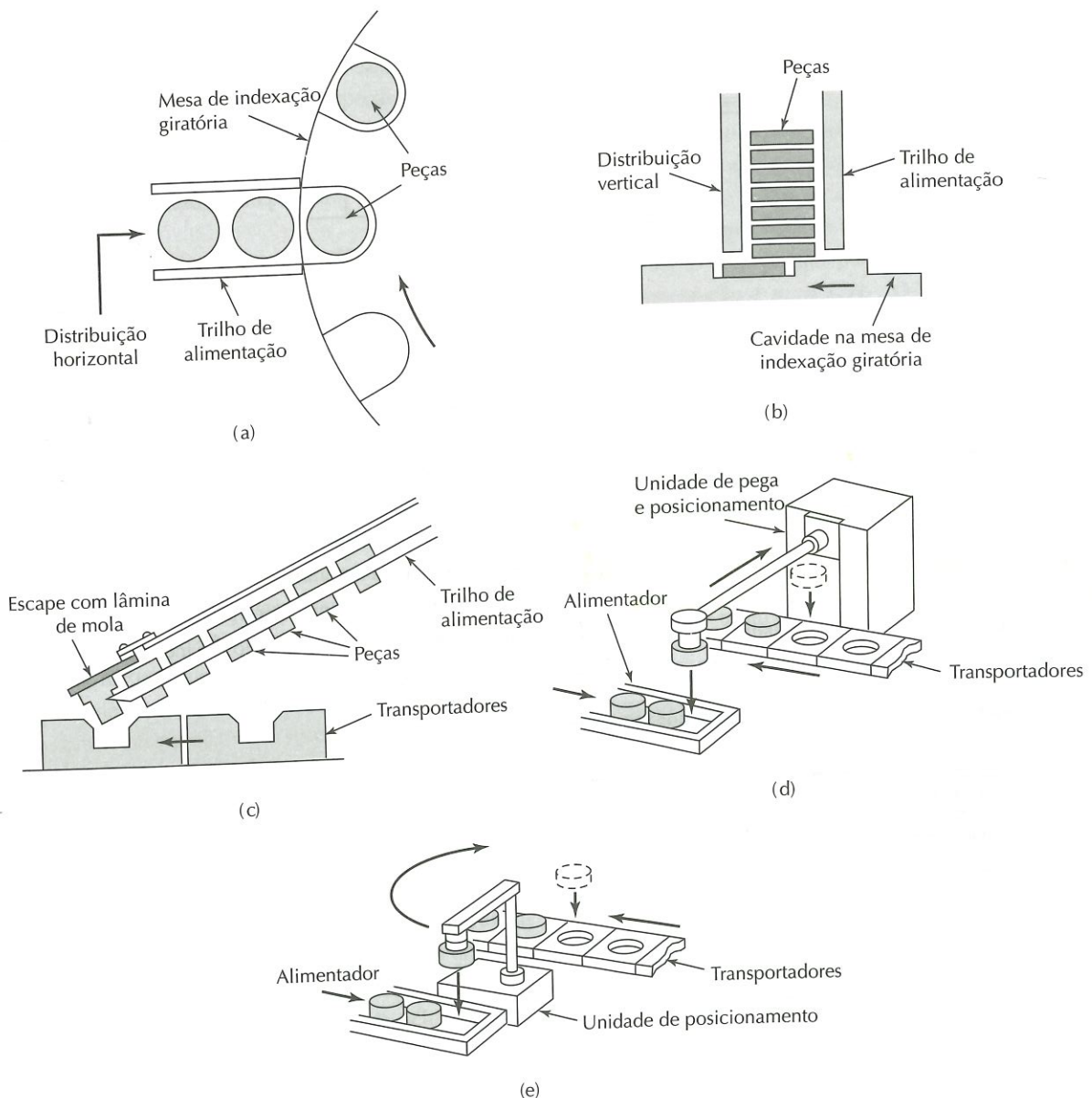


comuns. Nesse tipo, a panela e o alimentador de peças estão localizados em um nível acima do dispositivo de montagem. A força da gravidade é usada para distribuir os componentes para o dispositivo. O trilho de alimentação motorizado usa ação vibratória, pressão do ar e outros meios para forçar a movimentação das peças em direção ao dispositivo de montagem.

5. **Dispositivos de escape e posicionamento.** Remove os componentes do trilho de alimentação em intervalos

de tempo consistentes com o tempo de ciclo do dispositivo de montagem. O *dispositivo de posicionamento* coloca o componente no local correto na estação de trabalho para a operação de montagem. Esses elementos algumas vezes são combinados em um único mecanismo operacional. Em outros casos, são dois dispositivos separados. Vários tipos de dispositivos de escape e posicionamento são ilustrados na Figura 17.4.

Figura 17.4 Vários dispositivos de escape e posicionamento usados nos sistemas de montagem automatizados: (a) dispositivo horizontal; (b) dispositivo vertical para posicionamento de peças na mesa de indexação giratória; (c) escape das peças em forma de rebite controladas pelos transportadores; (d) e (e) dois tipos de mecanismos de pegar e posicionar (do inglês, *pick-and-place*) (reimpressos de Gay [6])

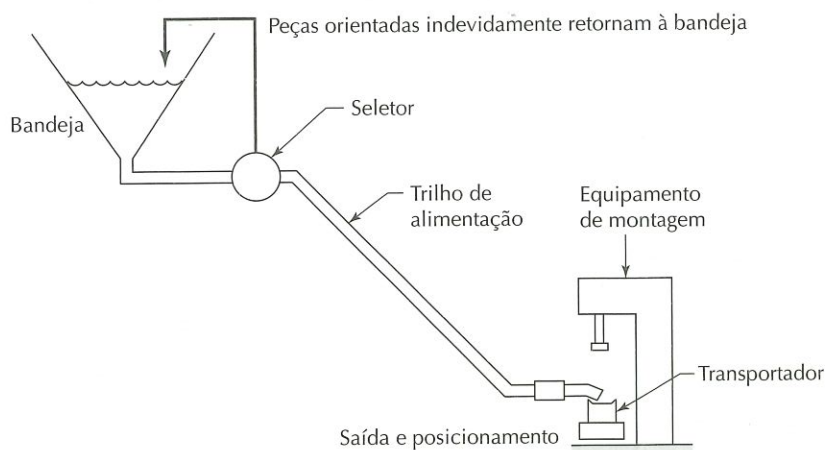


Os elementos de hardware do sistema de distribuição de peças são ilustrados esquematicamente na Figura 17.5. Um seletor de peças é ilustrado no diagrama. As peças incorretamente orientadas são devolvidas para a bandeja. No caso de um orientador de peças, estas são reorientadas e passam para o trilho de alimentação. Uma descrição mais detalhada dos vários elementos do sistema de distribuição é fornecida por Boothroyd, Poli e Murch [3].

Um dos desenvolvimentos na tecnologia dos sistemas de alimentação e distribuição de peças é o **alimen-**

tador de peças programável [7], [10], capaz de alimentar componentes de várias geometrias e que precisa de apenas alguns minutos para fazer os ajustes (mudar o programa) para lidar com as diferenças. A flexibilidade desse tipo de alimentador lhe permite ser usado na produção em lote ou quando houver mudanças de projeto no produto. **A maioria dos alimentadores de peças é projetada como sistemas automatizados rígidos para montagem de alta produção de produto com projetos estáveis.**

Figura 17.5 Elementos de hardware do sistema de distribuição de peças em uma estação de trabalho de montagem



17.1.3 Aplicações

Os sistemas de montagem automatizados são usados para produzir uma ampla variedade de produtos e submontagens. A Tabela 17.1 apresenta uma lista dos produtos típicos feitos por montagem automatizada.

Os tipos de operações realizadas nas máquinas de montagem automatizadas abrangem uma ampla faixa.

Fornecemos uma lista representativa dos processos na Tabela 17.2, os quais são descritos em Groover [9]. É importante observar que certos processos de montagem são mais apropriados para automação do que outros. Por exemplo, fixadores roscáveis (como parafusos e porcas), embora comuns na montagem manual, são um método desafiador de montagem para automatizar.

Tabela 17.1 Produtos típicos feitos por montagem automatizada

Relógios despertadores	Tomadas e plugues elétricos	Montagens de placa de circuito impresso
Fitas cassete de áudio	Injetores de combustível	Bombas hidráulicas para uso doméstico
Rolamentos de esferas	Caixas de marcha	Pequenos motores elétricos
Canetas esferográficas	Lâmpadas elétricas	Plugues de vela
Isqueiros	Cadeados	Relógios de pulso
Disquetes de computador	Canetas e lápis	

Tabela 17.2 Processos usados nos sistemas de montagem automatizados

Aplicação automática de adesivo	União por aderência
Inserção de componentes (montagem eletrônica)	Soldagem
Posicionamento de componentes (montagem eletrônica)	Soldagem de ponto
Rebitamento	Grampeamento
Aperto de parafusos (parafusadeira automática)	Costura

17.2 ANÁLISE QUANTITATIVA DOS SISTEMAS DE MONTAGEM

Certos aspectos de desempenho dos sistemas de montagem automatizados podem ser estudados usando modelos matemáticos. Nesta seção, desenvolvemos alguns: (1) o sistema de distribuição de peças nas estações de trabalho, (2) sistemas de montagem automatizados multiestação, (3) sistemas de montagem automatizados de estação única e (4) automação parcial.

17.2.1 Sistema de distribuição de peças nas estações de trabalho

No sistema de distribuição de peças, Figura 17.5, o mecanismo de alimentação de peças é capaz de remover as peças da bandeja em uma determinada taxa f . Essas peças são supostamente orientadas de modo aleatório e devem ser apresentadas ao seletor ou orientador para estabelecer a orientação correta. No caso de um seletor, uma determinada proporção das peças estará corretamente orientada e elas estarão autorizadas a passar. O restante das peças que estão orientadas incorretamente serão rejeitadas e enviadas de volta para a bandeja. No caso de um orientador, as peças orientadas incorretamente serão reorientadas, resultando numa taxa de cem por cento de peças passando pelo dispositivo. Em muitos projetos de sistema de distribuição, as funções do seletor e do orientador são combinadas. Vamos definir θ para ser a proporção de componentes que passam pelo processo do seletor-orientador e estão corretamente orientados para distribuição no trilho de alimentação. Portanto, a taxa efetiva de distribuição de componentes da bandeja para o trilho de alimentação é $f\theta$. A parcela restante $(1 - \theta)$ retorna à bandeja. Obviamente, a taxa de distribuição $f\theta$ dos componentes para o dispositivo de montagem precisa ser suficiente para manter a taxa de ciclo da máquina de montagem.

Considerando que a taxa de distribuição de componentes $f\theta$ é maior que a taxa de ciclo R_c da máquina de montagem, o sistema precisa ter um meio de limitar o tamanho da fila no trilho de alimentação. A solução comum é colocar um sensor (por exemplo, uma chave fim de curso ou um sensor ótico) próximo ao topo do trilho de alimentação para desativar o mecanismo de alimentação quando o trilho estiver cheio. Esse sensor é chamado de sensor de nível alto e sua localização define o comprimento ativo L_2 do trilho de alimentação. Se o comprimento de um componente no trilho de alimentação é L_c , então o número de peças que podem ser mantidas no trilho de alimentação é $n_2 = L_2/L_c$. O comprimento dos componentes precisa ser medido de um ponto em determinado componente ao ponto correspondente no próximo componente na fila para considerar possíveis sobreposições de peças. O valor de n_2 é a capacidade do trilho de alimentação.

Outro sensor posicionado ao longo do trilho de alimentação, a certa distância do primeiro, é usado para reiniciar o mecanismo de alimentação. Se definirmos o local desse sensor de nível baixo como L_1 , então o número de componentes no trilho de alimentação nesse ponto é $n_1 = L_1/L_c$.

A taxa em que as peças no trilho de alimentação são reduzidas quando o sensor de nível alto é acionado (desativando o alimentador) é igual a R_c , que é a taxa de ciclo do dispositivo de montagem automatizado. Em média, a taxa em que a quantidade de peças aumentará sob o acionamento do sensor de nível baixo (que ativa o alimentador) é $f\theta - R_c$. Entretanto, a taxa do aumento não é uniforme devido à natureza aleatória da operação do alimentador-seletor. Portanto, o valor de n_1 precisa ser alto o bastante para eliminar a probabilidade da falta de peças após o sensor de nível baixo ativar o alimentador.