
5 Aplicacions i terminals

5.1 Tipus d'aplicació

Tot i que un robot industrial, gràcies a la seva concepció flexible, és una màquina capaç de realitzar una gran diversitat de moviments i de funcions i, en definitiva, de tasques, les característiques i prestacions necessàries per a l'execució de cada una no són les mateixes.

Aquest fet ha donat lloc als robots especialitzats en determinades aplicacions, o al requeriment d'un conjunt de característiques per a cada tipus de tasca determinada. Les principals aplicacions dels robots industrials es poden classificar en els tres grups següents:

A) *Manipulació d'objectes*

Conjunt d'aplicacions basades en la prensió i subjecció d'objectes i el seu desplaçament entre poses determinades en les quals s'utilitza un tipus de terminal anomenat *prensor*. Atès que en aquestes aplicacions cal precisar la posa on es realitza la prensió i la posa on es deixa l'objecte, sense un interès específic per la trajectòria recorreguda, és adequat un sistema de control posa a posa. Per tal de fer la tasca eficaç, són desitjables velocitats i acceleracions elevades. Quant a la càrrega nominal pot ser molt variable en funció de l'aplicació concreta.

Entre les tasques que corresponen a aquest primer grup d'aplicacions hi ha:

- La transferència
- La paletització
- La càrrega i descàrrega de màquines

B) *Operacions de procés*

Conjunt d'aplicacions que inclou totes aquelles tasques que comporten un procés, o una transformació, de la peça sobre la qual s'actua i en les quals generalment el robot industrial manipula una *eina*. L'estructura articulada del robot industrial, l'espai de treball i l'accessibilitat, la càrrega nominal, la velocitat màxima, així com el tipus de control, varien molt d'una aplicació a l'altra.

Les operacions de procés més freqüentment realitzades per robots industrials són:

- Soldadura per punts
- Soldadura per arc
- Pintura per projecció
- Altres operacions de procés

C) *Muntatge i inspecció*

Conjunt d'aplicacions que inclou aquelles tasques que comporten la col·locació de diverses peces en posicions relatives, i eventualment la seva fixació per mitjà de determinats elements d'unió, de tal manera que formen un conjunt més complex, o grup. El *muntatge* va més enllà de la manipulació en exigir un posicionament precís entre peces, a més d'altres capacitats, com són l'acomodació (passiva o activa) en tasques d'inserció, l'execució de forces en determinats acoblaments, etc. Es prefereixen estructures articulades senzilles amb direccions de muntatge preferents, amb velocitat i precisió elevades. Els terminals més freqüents són els *prensors*, tot i que en determinats casos poden utilitzar *eines* destinades als elements d'unió.

Entre les tasques més destacades d'aquest tercer grup d'aplicacions hi ha:

- Col·locació relativa de peces
- Muntatge amb inserció
- Muntatge amb unions cargolades o reblonades
- Inspecció

Requeriments del robot segons les aplicacions

Les principals característiques que ha de reunir el robot industrial per a cada una d'aquestes aplicacions, són:

Aplicació	Estructura articulada	Nombre d'eixos	Programació	Control (1)	Càrrega nominal	Repetibilitat
Manipulació	Esfèrica Angular Cilíndrica	de 4 a 5	per guiatge	PTP	mitjana alta	baixa
Soldadura per punts	Angular Esfèrica	de 5 a 7	per guiatge	PTP	alta	baixa
Soldadura per arc	Angular Esfèrica Cartesiana	de 5 a 6	per guiatge	CP	baixa	alta
Pintura i recobriments	Angular	de 6 a 8	per guiatge (manulament)	CP	baixa	baixa
Muntatge	Scara Cartesiana Angular	de 3 a 6	per guiatge per llenguatge	PTP CP	mitjana baixa	alta

(1) PTP = Posa a posar; CP = Trajectòria contínua

5.2 Terminals. Prensors

A totes les definicions de robot industrial, apareix directa o indirectament que el robot és una màquina destinada a:

"... la premsió i desplaçament de peces i eines, o altres dispositius especials ..."

L'estructura mecànica del robot industrial ofereix la mobilitat necessària per a la realització d'una gran diversitat de tasques, però cal un dispositiu a l'extrem d'aquesta estructura per tal que executi una tasca específica. Aquest dispositiu és el *terminal*.

El terminal és, doncs, qualsevol dispositiu que es fixa a la *interfície mecànica del puny*, per mitjà de l'*acoblament de terminal*, i que té per missió l'execució de la tasca específica que té encomanat el sistema. Per tant, el *terminal* no forma part pròpiament del robot industrial i constitueix l'element que adequa el robot a cada aplicació.

Els terminals es classifiquen en dos grans grups:

Prensors Són terminals que s'utilitzen per a la premsió, la subjecció i el desplaçament d'objectes entre poses determinades.

Eines Són terminals que executen altres tasques que la de premsió i subjecció d'objectes. Generalment corresponen a operacions de procés.

Els *prensors* són els terminals més freqüents a les aplicacions dels robots industrials, ja que són utilitzats a totes les tasques de manipulació, a un gran nombre de tasques de muntatge i a un nombre creixent d'operacions de procés. Les *eines* utilitzades com a terminal del robot industrial són més diverses, i en correspon un tipus a cada un dels processos específics.

És per això que, a la resta d'aquesta secció, es dedicarà l'atenció a l'anàlisi dels terminals de tipus *prensor*, mentre que es deixarà la descripció dels terminals de tipus *eina* a cada una de les seccions on s'analitzen les aplicacions corresponents.

Prensors

Com ja s'ha dit, els *prensors* són aquells terminals que tenen per funcions la *premsió*, la *subjecció* i el *desplaçament* d'objectes. Els prensors es poden classificar en els grups següents:

- a) *Prensors unilaterals*. Són aquells que subjecten l'objecte a partir d'una força unilateral d'atracció. Els dos tipus principals de prensor unilateral utilitzats com a terminal dels robots industrials són:
 - a1) *Prensors de buit*. Funcionen per mitjà de l'acció d'una o més ventoses que creen un buit sobre la peça.
 - a2) *Prensors magnètics*. Funcionen per mitjà de l'acció d'un imant o un electroimant que atrauen objectes ferromagnètics.

- b) *Prensors bilaterals* (o *pinces*). Són aquells que realitzen la subjecció a partir de tancar dos dits sobre l'objecte, per mitjà d'un mecanisme d'un grau de mobilitat. Les *pinces*, que són els prensors més utilitzats en els robots industrials, en funció del tipus d'acció entre la pinça i l'objecte, presenten dos principis de funcionament:
 - b1) *Pinces de subjecció per força*. La subjecció es confia a la força que els dits de la pinça exerceixen sobre l'objecte, i a les corresponents forces d'adherència transversals.
 - b2) *Pinces de subjecció per forma*. La subjecció es confia a l'empresonament de l'objecte per la pinça gràcies a l'acoblament de formes entre els dits i l'objecte

- c) *Prensors multilaterals* (o *mans*). Són aquells que realitzen la subjecció a partir d'abraçar l'objecte a diversos punts a partir de mecanismes amb diferents graus de mobilitat. La subjecció es realitza per una combinació dels principis de força i de forma.

Alguns prensors multilaterals han de ser considerats com a pinces ja que presenten un sol grau de mobilitat (exemple: pinça de tres dits).

Prensor de buit

És un *prensor* que, per mitjà de creació o supressió del buit sobre una o més ventoses, és capaç de subjectar i manipular objectes amb superfícies llises de diverses formes. Els prensors de buit poden ser accionats per:

- a) *Bomba de buit*. Pot realitzar un esforç de tracció important, però necessita una bomba de buit de cost elevat (Fig. 5.1a).
- b) *Dispositiu de Venturi*. El dispositiu d'accionament és molt més econòmic, però l'esforç de tracció que pot realitzar és molt inferior, i el temps de resposta és molt més llarg (Fig. 5.1b).

És un sistema de premsió simple i de poc volum utilitzat a la manipulació d'objectes de xapa, de vidre, de cartró i anàlegs. Una aplicació específica és la càrrega/descàrrega de xapes en línies de premses.

Prensor magnètic

És un *prensor* que, per mitjà de l'atracció magnètica, és capaç de subjectar i manipular objectes de materials ferromagnètics i, de forma especial, xa-pes i bandes d'acer. Els prensors magnètics es poden dividir en dos grups:

- a) *Prensors magnètics per imants permanents*. En aquest cas la premsió es realitza simplement per proximitat, mentre que l'alliberament de l'objecte s'efectua per mitjà d'un sistema d'expulsió accionat independentment (Fig. 5.2).
- b) *Prensors magnètics per electroimant*. En aquest cas la premsió es realitza, un cop el prensor magnètic és en contacte amb l'objecte, per mitjà de l'alimentació de l'electroimant, mentre que l'alliberament es realitza desactivant l'electroimant (Fig. 5.3).

Avantatges. Sistemes senzills que tenen una duració prolongada i exigeixen poc manteniment; admeten una gran flexibilitat quant a les formes i dimensions dels objectes manipulats; el temps de premsió és molt curt.

Inconvenients. Dificultats de posicionament i perill de relliscada lateral durant la manipulació; la magnetització residual dels objectes pot donar lloc a dificultats posteriors de manipulació, muntatge o neteja; els electroimants presenten problemes de seguretat en el cas d'un tall d'alimentació.

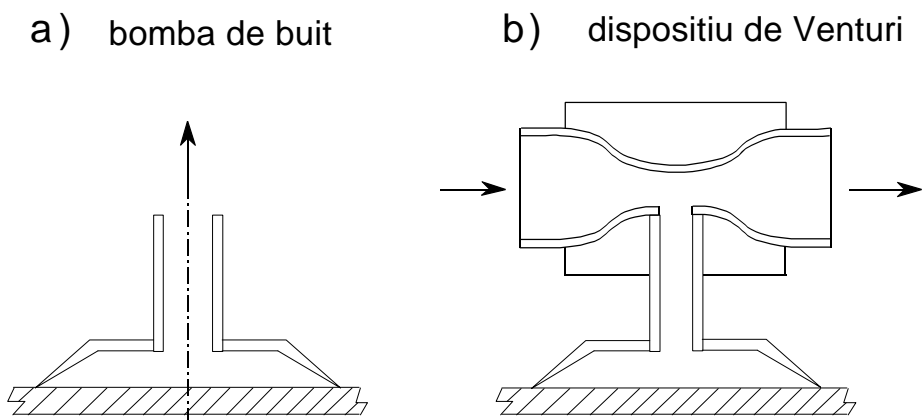


Figura 5.1

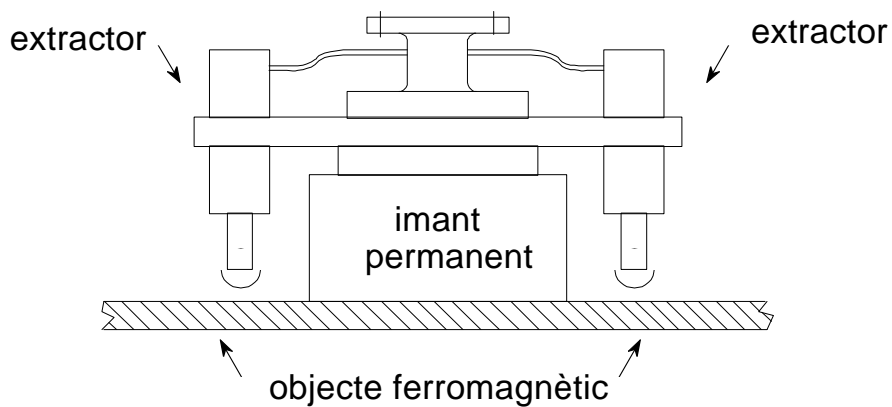


Figura 5.2

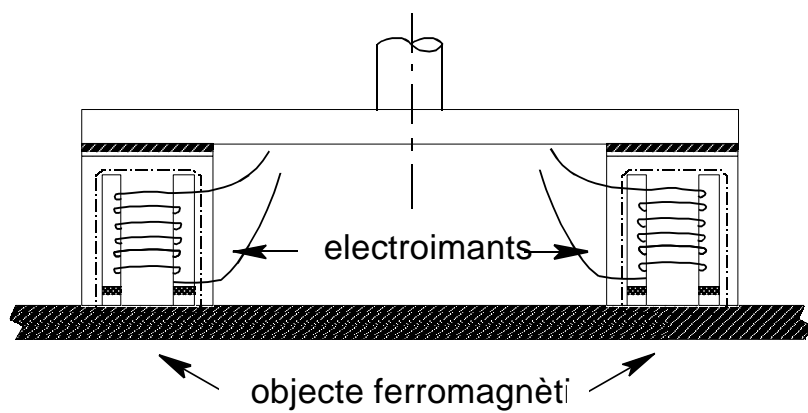


Figura 5.3

Pinces:

Mecanisme d'accionament i forma dels dits

En el moment de triar el sistema de pinça per a un robot industrial és freqüent separar les dues qüestions següents:

- a) D'una banda, es pren com a base una *pinça estàndard* amb un mecanisme d'accionament que respongui al conjunt de necessitats de les aplicacions de l'usuari (més endavant s'avaluen diversos dels *mecanismes d'accionament de pinça* més freqüentment usats).
- b) D'altra banda, per a cada tasca concreta s'adopten un dits amb el principi de subjecció, la forma i les dimensions adequades a la peça que ha de ser manipulada.

Subjecció per força i subjecció per forma

Com ja s'ha dit, a les *pinces de subjecció per força*, la subjecció es confia a la força de pressió i a les corresponents forces d'adherència (Fig. 5.4a), mentre que a les *pinces de subjecció per forma*, la subjecció es confia a l'acoblament de formes (Fig. 5.4b). A la pràctica, sovint s'adopten *pinces* que combinen en divers grau els dos principis de funcionament.

Avantatges i inconvenients

El sistema de *subjecció per força* presenta l'avantatge d'admetre la pressió d'objectes d'una gran varietat de formes i dimensions (versatilitat), mentre que exigeix una força relativament gran per assegurar una bona subjecció.

El sistema de *subjecció per forma* és molt rígid quant a formes i dimensions dels objectes (rigidesa), però en canvi amb una força molt petita s'assegura una bona subjecció.

Formes de dits

La Figura 5.5 representa una pinça estàndard (Fig. 5.5a), amb dits de diferents formes i dimensions per a la manipulació de peces concretes: Dits per a subjecció d'interiors (Fig. 5.5b); dits de subjecció per forma múltiple (Fig. 5.5c); dits per a subjecció d'una varietat de diàmetres (Fig. 5.5d).

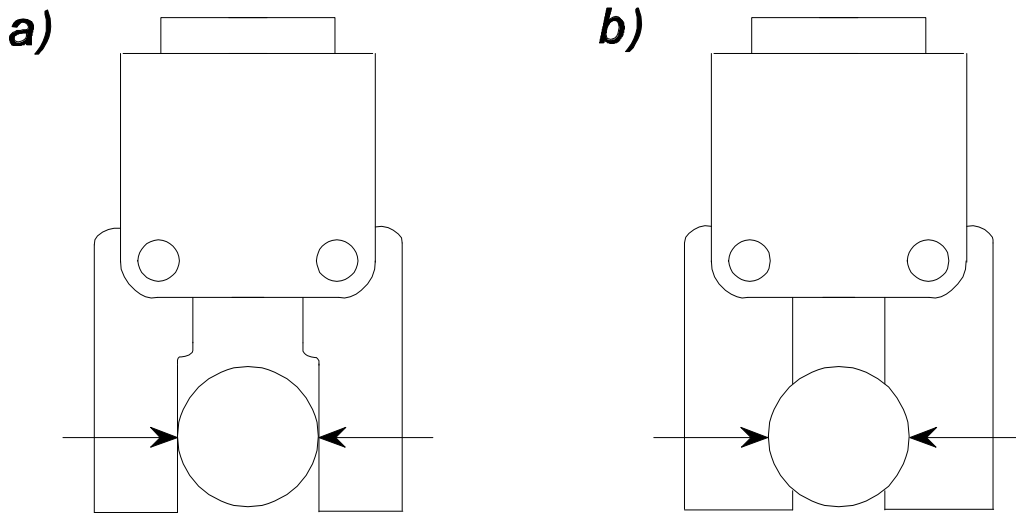


Figura 5.4

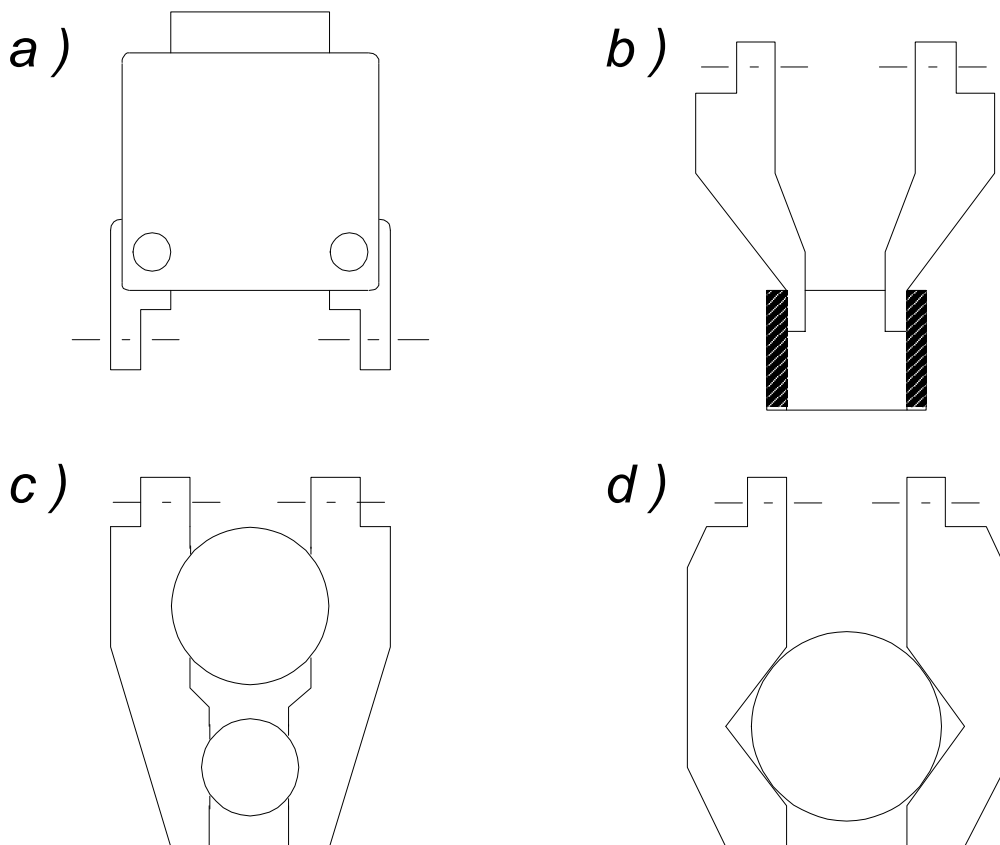


Figura 5.5

Pinces de dits deformables

Les pinces de dits deformables, accionades pneumàticament, constitueixen un sistema senzill, poc costós i fiable per resoldre el problema de la premsió d'objectes. No són freqüents les solucions estàndard i l'usuari ha d'adaptar la solució a cada cas. A continuació es donen alguns exemples:

a) *Pinça exterior de dits deformables* (Fig. 5.6)

Pinça formada per un suport rígid dintre del qual hi ha uns elements elàstics que es deformen per acció de la pressió pneumàtica i que, en disminuir l'espai interior realitzen la premsió des de l'exterior de l'objecte.

Avantatges. Sistema simple, de baix cost i fiable. Els dits s'adapten a formes variables, dintre d'uns determinats límits. Premsió ràpida que no danya l'objecte.

Desavantatges. Solució voluminosa que realitza la subjecció per força. Amplitud d'obertura limitada. Solució poc universal.

b) *Pinça interior de dits deformables* (Fig. 5.7)

Pinça anàloga a la del cas anterior, però que realitza la premsió de l'objecte des d'una part interior, amb els mateixos avantatges i desavantatges.

c) *Pinça envolvent de dits deformables* (Fig. 5.8)

Pinça constituïda per dos dits flexibles, cada un dels quals té una part (la interior) poc deformable longitudinalment i una altra part (l'exterior) molt més deformable longitudinalment. En aplicar-hi pressió els dits es pleguen vers l'interior i s'adapten a l'objecte que cal prendre. Constitueix una pinça apte per a la manipulació d'objectes fràgils de petites dimensions.

Avantatges. Sistema simple, de baix cost i fiable. Dispositiu poc voluminós capaç d'adaptar-se a una gran varietat de formes i dimensions. Premsió ràpida que no danya l'objecte.

Desavantatges. La força de premsió és molt dèbil. Referenciació de l'objecte molt poc precisa.

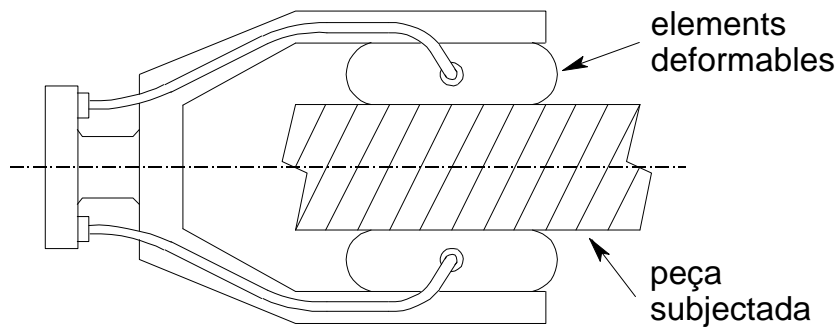


Figura 5.6

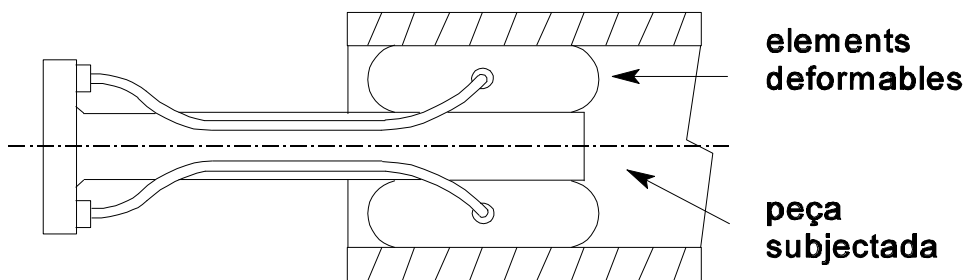


Figura 5.7

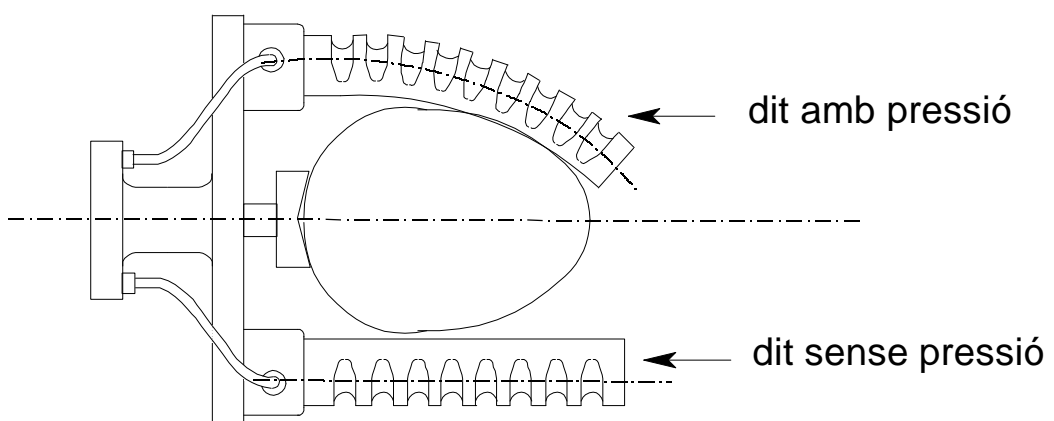


Figura 5.8

Mecanismes d'accionament de pinça (1)

a) *Pinça transversal simple de pistó* (Fig. 5.9)

Mecanisme accionat per un pistó que facilita una disposició de *pinça transversal* en la qual es pot situar el mecanisme a distància dels dits. Pot ser apte, doncs, per a la manipulació en ambients difícils (presència de brutícia, temperatures elevades, etc.). Els dits poden ser dissenyats de forma que es pugui accedir a espais reduïts.

Avantatges. El mecanisme és senzill, poc costós i fiable. Pot efectuar una cursa d'obertura relativament gran. La força de pressió és constant i els valors, moderadament elevats.

Desavantatges. L'objecte es desplaça en la pressió. Si els dits són molt allunyats de l'accionament, cal independitzar-ne el sistema de guiatge.

b) *Pinça transversal simple de cremallera* (Fig. 5.10)

Mecanisme anàleg al del cas anterior, accionat per un sistema de pinyó-cremallera.

Avantatges. El mecanisme és senzill i poc costós. Pot efectuar una cursa d'obertura important. La força de pressió és constant, però els seus valors són moderats.

Desavantatges. La velocitat de tancament és relativament baixa. L'objecte es desplaça en la pressió.

c) *Pinça transversal doble de cremallera* (Fig. 5.11)

Mecanisme anàleg al del cas anterior, en què el pinyó acciona dues cremalleres que mouen simètricament els dos dits.

Avantatges. El mecanisme és senzill i poc costós. Pot efectuar una cursa d'obertura important i se centra l'objecte en la pressió. La força de pressió és constant, però els seus valors són moderats.

Desavantatges. La velocitat de tancament és relativament baixa.

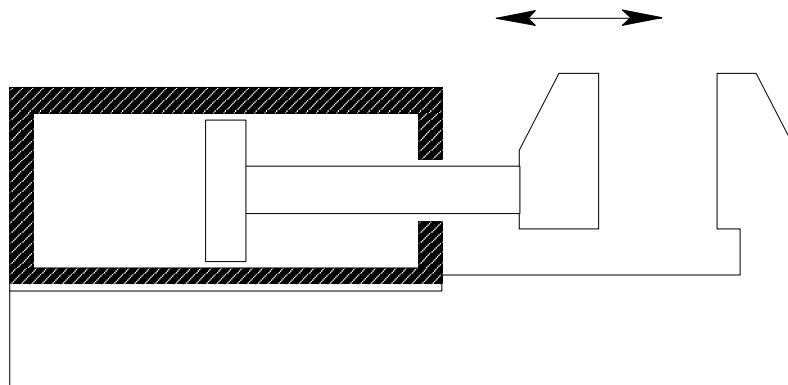


Figura 5.9

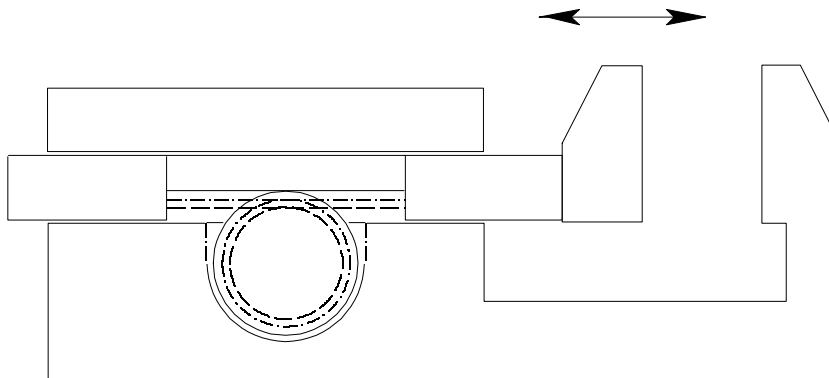


Figura 5.10

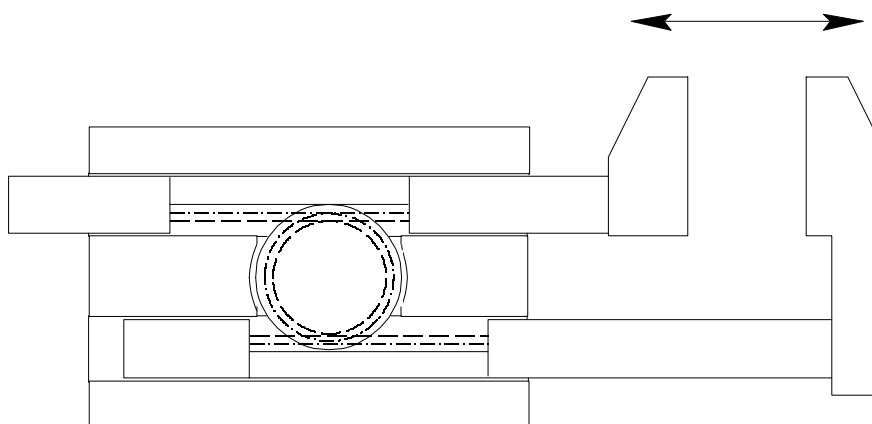


Figura 5.11

Mecanismes d'accionament de pinça (2)

d) *Pinça frontal de palanca angular* (Fig. 5.12)

Mecanisme que facilita una disposició de *pinça frontal*, accionat per un pistó que transmet el moviment per mitjà d'unes palanques angulars. Les forces transversals sobre la pinça repercuteixen sobre el pistó. Les principals aplicacions corresponen al muntatge i a la manipulació de petites peces.

Avantatges. Mecanisme relativament senzill, poc costós i compacte. Pot efectuar una cursa d'obertura relativament gran i centra la peça en la premsió. Els valors de la força de premsió són moderadament elevats.

Desavantatges. Els dits varien d'angle en variar l'obertura, fet que pot dificultar la premsió d'objectes de dimensions diferents.

e) *Pinça frontal de lleva* (Fig. 5.13)

Mecanisme anàleg l'anterior, en què l'obertura de la pinça es realitza per mitjà d'un mecanisme de lleva.

Avantatges. Mecanisme senzill i poc costós. La força de premsió és elevada i centra l'objecte en la premsió. Si el contacte lleva-seguidor és de fricció i l'angle de la lleva és petit, pot retenir l'objecte en cas de fallada del pistó (seguretat).

Desavantatges. L'obertura de la pinça és molt petita.

f) *Pinça frontal de genollera* (Fig. 5.14)

Mecanisme anàleg als anteriors, en què l'obertura de la pinça es fa per mitjà d'un mecanisme de genollera (alineació de les barres de transmissió).

Avantatges. Mecanisme relativament senzill, poc costós i compacte. La força de premsió és molt elevada i centra l'objecte en la premsió. Si l'alineació de les barres és gran, pot retenir l'objecte en cas de fallada de l'alimentació del pistó (seguretat).

Desavantatges. L'obertura de la pinça és important, però s'adapta malament a la premsió d'objectes de gruixàries diferents.

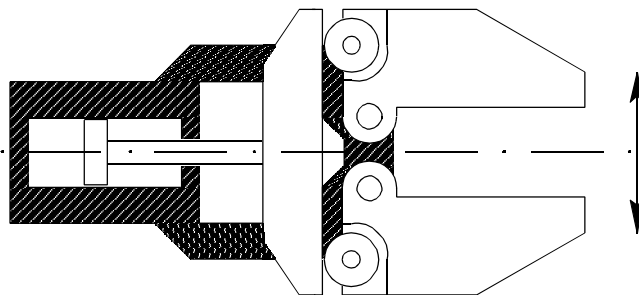


Figura 5.12

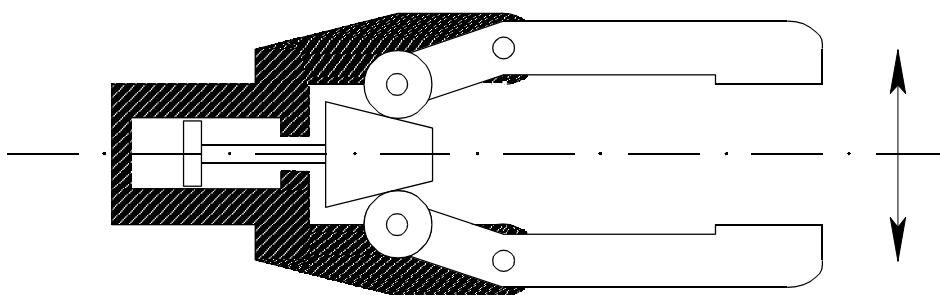
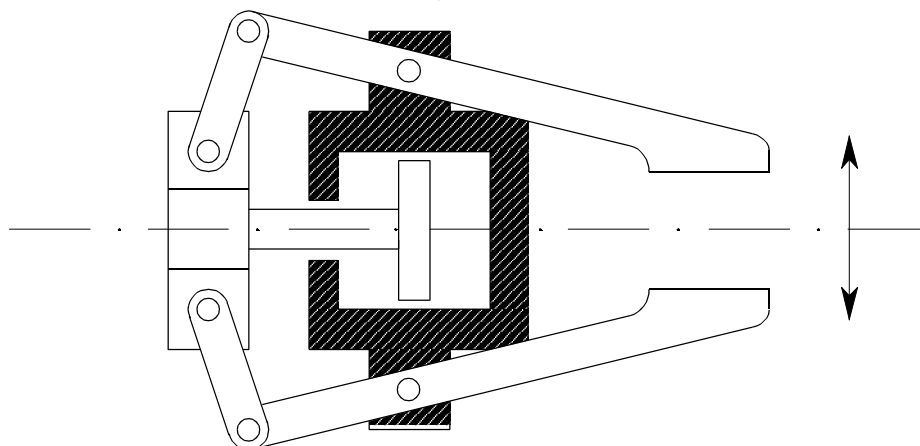


Figura 5.13

Figura 5.14



Mecanismes d'accionament de pinça (3)

g) *Pinça frontal de cremallera amb dits giratoris* (Fig. 5.15)

Mecanisme que facilita una disposició de *pinça frontal*, accionat per un pistó que transmet el moviment per mitjà d'una cremallera i dos pinyons o sectors dentats. Les forces transversals sobre la pinça no repercuteixen sobre el pistó. Té aplicacions molt diverses.

Avantatges. Mecanisme relativament senzill i poc costós. Pot efectuar una obertura molt gran de la pinça. La força de pressió és moderada però centra l'objecte.

Desavantatges. Els dits varien d'angle en variar l'obertura, fet que pot dificultar la pressió d'objectes de dimensions diferents. Per a grans obertures, la força de pressió és molt feble.

h) *Pinça frontal de cremallera amb dits paral·lels* (Fig. 5.16)

Mecanisme anàleg al del cas anterior, en què cada un dels dits és suportat per un paral·lelogram articulat que li proporciona un moviment de translació paral·lela.

Avantatges. Mecanisme relativament senzill i no gaire costós. Pot efectuar una obertura molt gran de la pinça tot mantenint els dits paral·lels. La força de pressió és moderada, però centra l'objecte.

Desavantatges. Per a grans obertures, la força de pressió és feble.

i) *Pinça frontal de cremallera amb dits desplaçables* (Fig. 5.17)

Mecanisme anàleg al del cas anterior, en què els pinyons engranen amb unes cremalleres transversals unides als dos dits desplaçables de la pinça.

Avantatges. Mecanisme senzill, poc costós, fiable i molt compacte. Pot efectuar una obertura moderadament gran de la pinça i centra l'objecte. La força de pressió és moderada, però constant. Poden actuar més de dos dits en sentit radial (és freqüent la construcció amb tres dits).

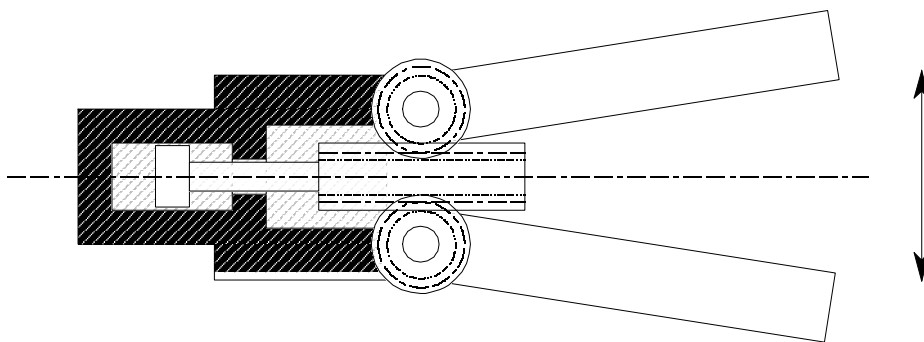


Figura 5.15

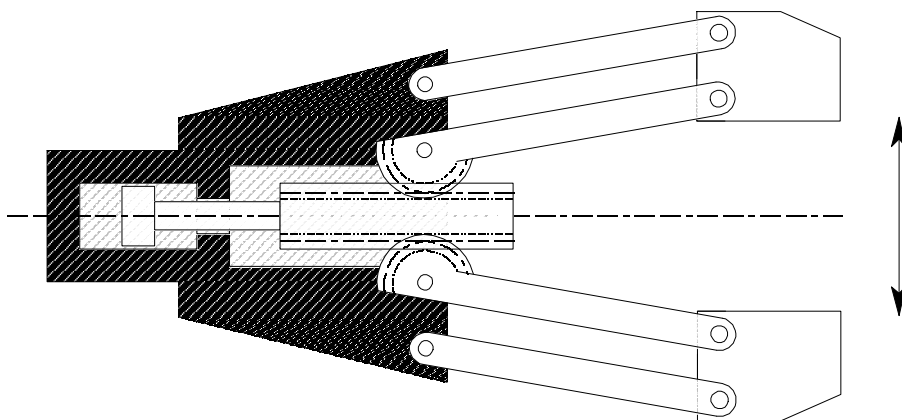


Figura 5.16

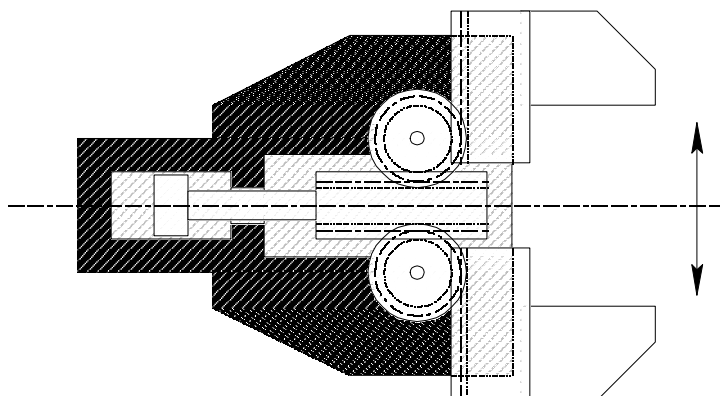


Figura 5.17

Mecanismes d'accionament de pinça (4)

j) *Pinça frontal de cremallera transversal* (Fig. 5.18)

Mecanisme que facilita una disposició de *pinça frontal*, accionat per un motor giratori que transmet el moviment per mitjà d'un pinyó i dues cremalleres transversals unides als dos dits desplaçables de la pinça. Té aplicacions molt diverses.

Avantatges. Mecanisme senzill, poc costós, fiable i molt compacte. Pot efectuar una obertura moderadament gran de la pinça i centra l'objecte.

Desavantatges. La força de pressió és feble, però constant. La pressió és relativament lenta.

k) *Pinces especials*

Existeixen una gran diversitat de pines especials adaptades a la manipulació d'objectes de forma, dimensions i consistència determinades, que compleixen especificacions donades per l'usuari. La Figura 5.19 mostra un exemple de *pinça especial per a tubs de vidre*, que funciona per subjecció de forma.

Mans (Fig. 5.20)

Com ja s'ha definit anteriorment, són *prensors multilaterals* que abracen l'objecte en diversos punts a partir de mecanismes amb diversos graus de mobilitat. La subjecció es realitza per una combinació dels principis de força i de forma.

Avantatges. Són elements d'una gran versatilitat que permeten la subjecció d'objectes de formes i dimensions molt variades.

Desavantatges. Són mecanismes complexos i costosos. No permeten una bona referència de l'objecte i, en general, la força de pressió és baixa.

Tenen poca aplicació industrial, ja que els inconvenients (complexitat, alt cost, mala referència) són superiors als avantatges (versatilitat).

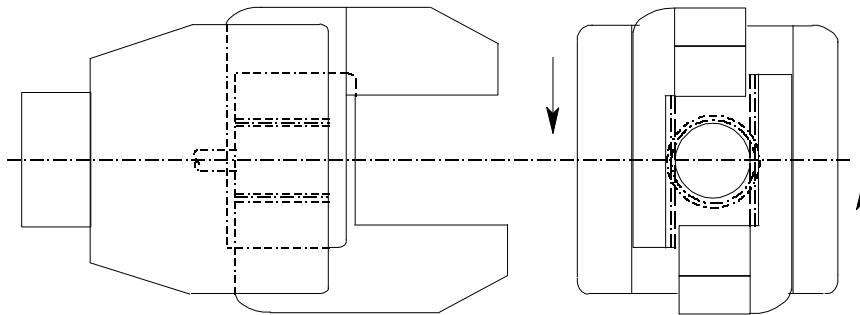


Figura 5.18

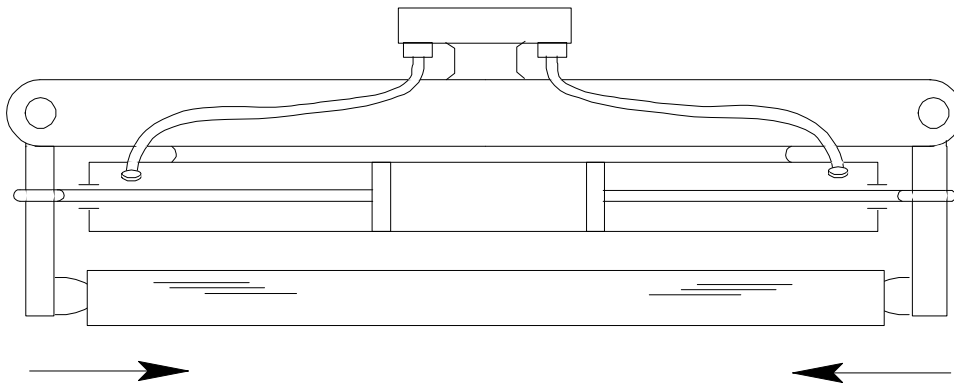


Figura 5.19

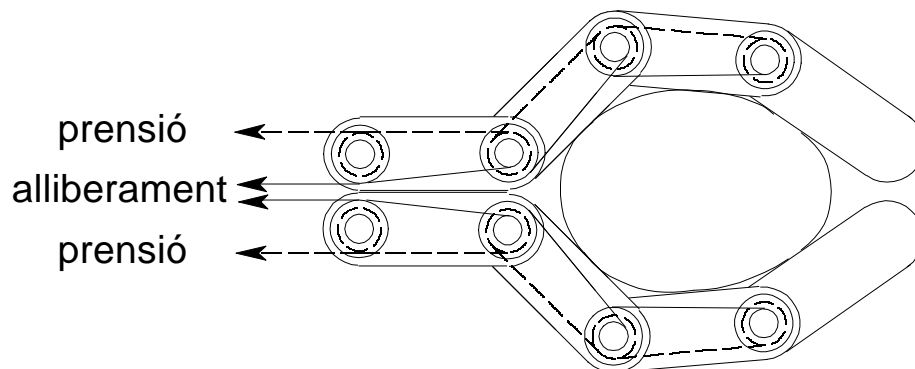


Figura 5.20

5.3 Manipulació d'objectes

Com ja s'ha comentat en la secció 5.1, entre les tasques corresponents a aquestes aplicacions hi ha:

- a) Transferència d'objectes
- b) Paletització/despaletització
- c) Càrrega i descàrrega de màquines

a) Transferència d'objectes

Descripció de l'operació

La transferència d'objectes és una operació relativament senzilla que consisteix a prendre un objecte en una posició donada, executar un desplaçament i lliurar-lo en una altra posició concreta, la majoria de vegades sense un canvi d'orientació de l'objecte.

En general, cal una interrelació entre el control del robot i el seu entorn (*enclavaments*) per assegurar la presència de l'objecte en el lloc de premsió, o assegurar que no hi ha un altre objecte en el lloc de lliurement. En les operacions de transferència, aquests enclavaments són senzills, del tipus microrruptor o detector de presència.

Si es tracta de realitzar la premsió d'un objecte en moviment, el sistema d'enclavament es complica notablement i exigeix algun sensor del tipus visió artificial. En la manipulació d'objectes fràgils pot ser interessant un enclavament basat en un sensor tàctil, a fi de limitar la força de premsió.

Terminals

Els terminals típics de les operacions de transferència són els premsors, de formes i dimensions molt variables en funció de l'objecte transferit. Com que en general, en la transferència, es busca de minimitzar el temps, caldrà que el premsor subjecti correctament l'objecte a fi d'evitar que es deprenqui de la pinça durant les acceleracions i eventuais sotragades.

Característiques dels robots

Estructura mecànica. Pot ser relativament simple (cartesiana, Scara i, també, cilíndrica, esfèrica o angular) i n'hi ha prou amb un grau de mobilitat 3 o 4. La càrrega nominal és variable en funció de l'aplicació. Convenen velocitats elevades i en general n'hi ha prou amb una repetibilitat moderada. Algun cop s'afegeix un nou eix, per mitjà d'una *base mòbil* (Fig. 5.22), que amplia l'espai de treball del robot.

Programació i control. La programació es realitza la majoria de vegades per guiatge. En l'operació de transferència importen bàsicament les poses inicial i final del moviment i, per tant, n'hi ha prou amb el control posa a posa.

b) Paletització/despaletització

Descripció de l'operació

L'automatització, i sobretot la manipulació automatitzada d'objectes i peces, ha estès la utilització de *palets* (Fig. 5.21), que són contenidors compartimentats, o amb elements de fixació, que permeten situar ordenadament un determinat nombre de peces iguals, per al transport i manipulació de conjunt. D'aquesta manera no es perd l'ordre amb la qual cosa es faciliten les tasques de manipulació.

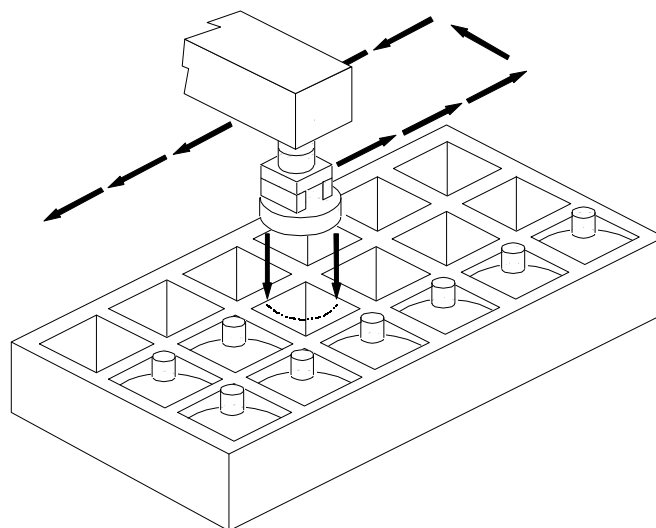


Figura 5.21

El fet de no perdre l'ordre i l'orientació de les peces és, en general, un aspecte important en els processos automatitzats, ja que facilita la manipulació. La *paletització* i la *despaletització* són les operacions de posar i retirar les peces d'un *palet*. En termes generals, l'operació és anàloga a la de *transferència*, amb l'única diferència que la posa de premsió, o de lliurament, és diferent a cada una de les successives operacions (Fig. 5.21).

Característiques dels robots. Terminals

Tant les característiques dels robots industrials com els tipus de terminals utilitzats a la *paletització/despaletització* són anàlogues a les de les operacions de *transferència*.

Hi ha, però, una diferència. Convé que el sistema de control dels robots utilitzats en la *paletització/despaletització* utilitzin un llenguatge d'alt nivell que faciliti el càlcul de les successives posicions del robot respecte al palet a partir d'una referència, sense haver de recórrer a una programació per guiatge de cada una d'aquestes posicions.

c) Càrrega i descàrrega de màquines

Descripció de les operacions

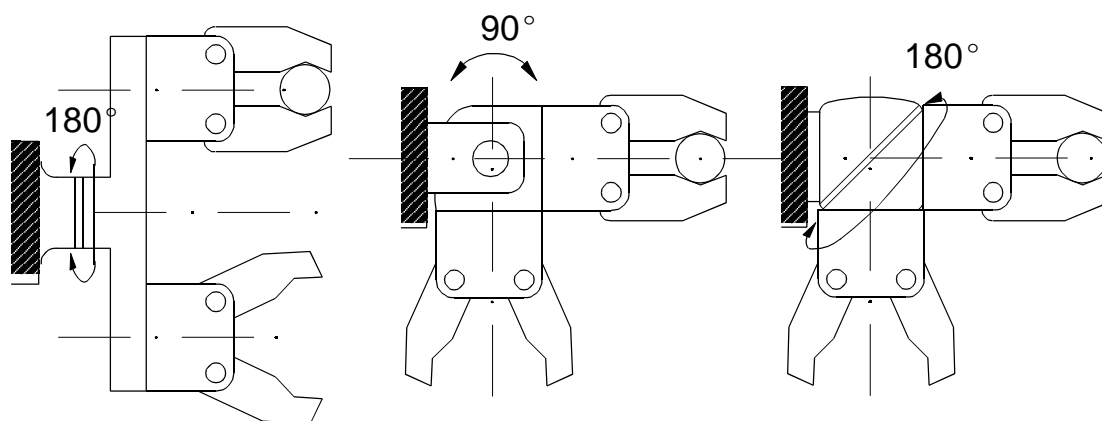
La càrrega i descàrrega de màquines presenta analogies molt importants amb la transferència de peces, però també presenta certes diferències, degudes sobretot al fet que el robot industrial en aquest cas està al servei d'una màquina, o màquines, i s'ha de supeditar a algunes exigències d'aquestes.

Hi ha les aplicacions aplicacions:

Càrrega/descàrrega de màquines. El robot carrega la peça en brut a la màquina, i descarrega la peça processada. Exemple: càrrega/descàrrega de màquines-eina.

A fi de minimitzar el temps d'aturada de la màquina-eina durant la manipulació del robot, és important l'ús d'una *doble pinça* (Fig. 5.22), això és, dues pinces muntades sobre un mateix suport que, per mitjà d'un gir de 90° o 180°, s'encaren una o altra pinça respecte a la zona de treball.

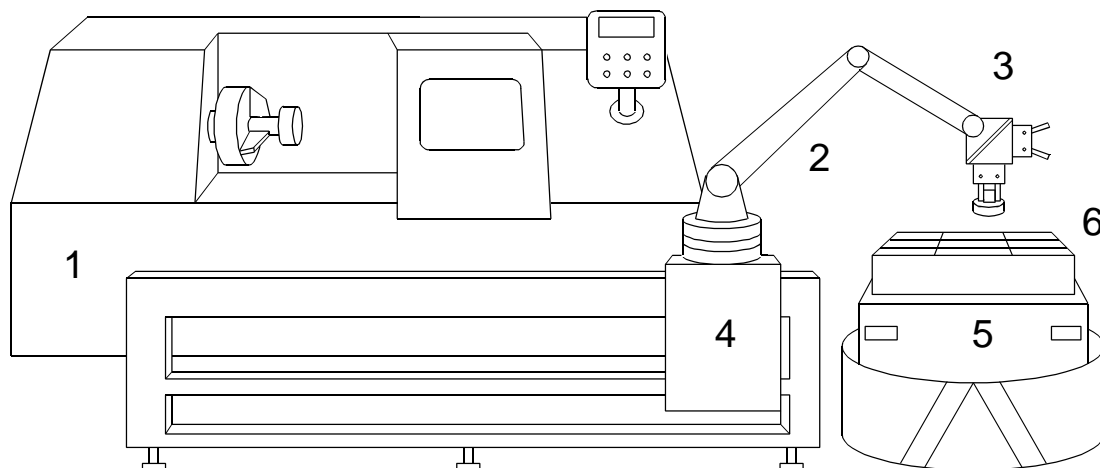
També és interessant que el puny tingui una certa mobilitat per facilitar l'orientació de les peces respecte la màquina.



Diferents disposicions de doble pinça

Figura 5.22

La Figura 5.23 mostra un sistema de càrrega/descàrrega d'un torn horitzontal amb diversos dels sistemes d'automatització descrits anteriorment.



1 Torn horitzontal; 2 Robot industrial; 3 Doble pinça; 4 Base mòbil;
5 Vehicle guiat automàticament (AGV, Automatically Guided Vehicle); 6 Palet

Figura 5.23

Càrrega de màquines. El robot industrial carrega la peça o material a la màquina, però aquest surt per algun altre procediment (gravetat, per una cinta, etc.). Exemple: alimentació de xapes o peces semielaborades en línies d'estampació o de premses.

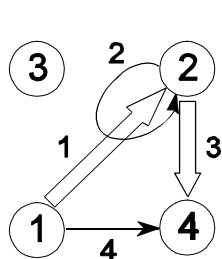
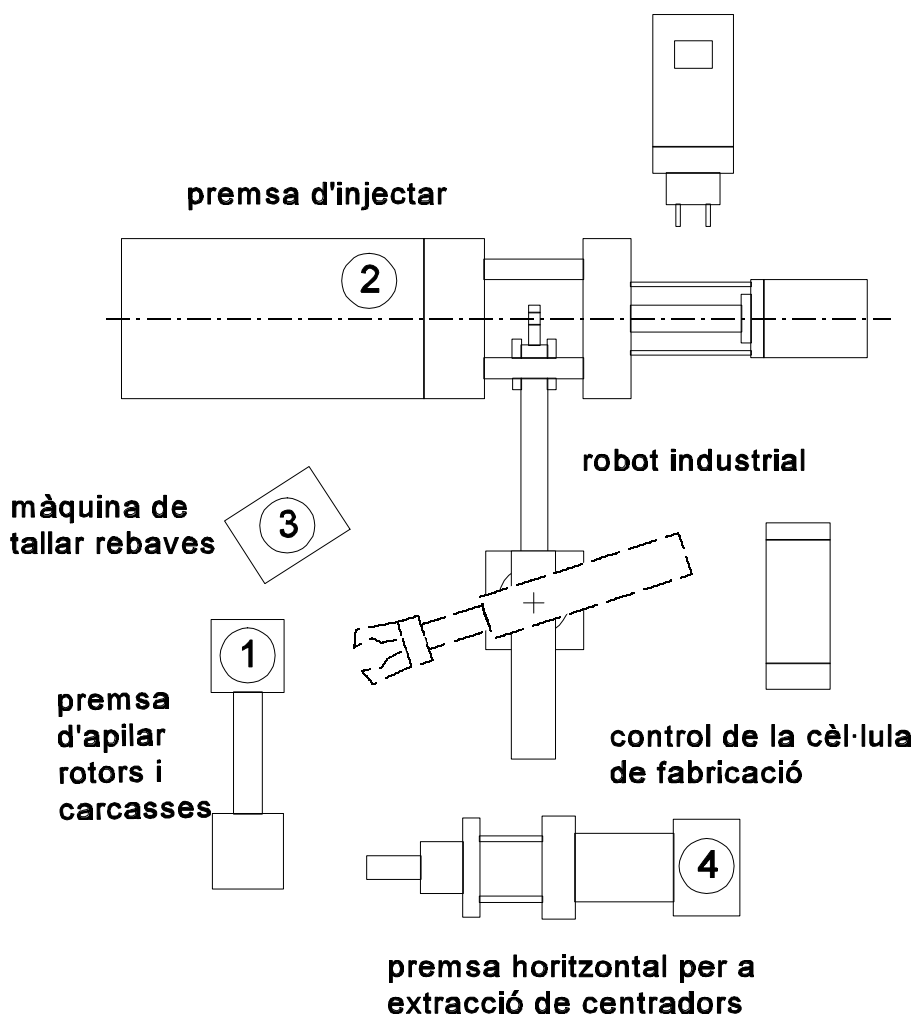
Descàrrega de màquines. El material o la peça arriben a la màquina per algun procediment automatitzat independent del robot industrial, mentre aquest és utilitzat en la descàrrega. Exemple: descàrrega de les peces en la injecció d'alumini o en la injecció de plàstic. Els sistemes d'extracció han d'estar dotats, sovint, de capacitats de força per a l'extracció.

Emmotllament per injecció de metalls. Procés de conformació per fosa en què un metall (generalment de punt de fusió baix, com l'alumini o el magnesi) és introduït a pressió dintre del motlle. Quan el metall s'ha refredat i solidificat suficientment, s'obre el motlle i s'extreu la peça. La cadència de la premsa d'injecció està compresa entre 10 i 60 segons, en funció de les dimensions i del tipus de peça.

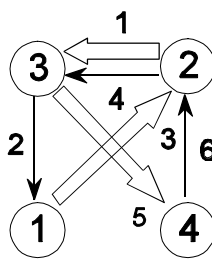
La descàrrega de la peça en premses d'injecció va ser la primera aplicació d'un robot industrial, realitzada per Ford l'any 1961. El cicle pot incloure operacions complementàries, com són el refredament de la peça i l'eliminació de rebaves i excedents de material. La figura 5.24 mostra una cèl·lula robotitzada d'injecció d'alumini.

Emmotllament per injecció de termoplàstics. Procés molt freqüent de conformació de termoplàstics, consistent en l'escalfament del material granulat en brut fins que esdevingui plàstic (de 200 a 300° segons els materials) i la introducció a pressió dintre del motlle per mitjà d'una màquina d'injecció de plàstics. Quan s'ha refredat suficientment i la peça ha adquirit consistència, s'obre el motlle i s'extreu la peça.

El robot industrial s'aplica a la descàrrega de la màquina, operació que no presenta grans requeriments, que ha donat lloc al desenvolupament de robots industrials de baix cost. Cal tenir cura, però, en el disseny de la pinça per facilitar l'accessibilitat, i evitar el dany a la peça. Tot i que el temps de refredament és generalment més llarg que el d'extracció, no és fàcil aprofitar el robot en operacions complementàries, com ara l'eliminació de rebaves i sobrants o la inspecció, ja que resulten ser relativament complexes.



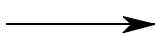
cicle de fabricació de rotors



cicle de fabricació de carcasses



moviments amb càrrega



moviments sense càrrega

Cèl·lula robotitzada d'emmotllament per injecció de rotors i carcasses d'alumini de motors elèctrics asíncrons

Figura 5.24

5.4 Soldadura per punts

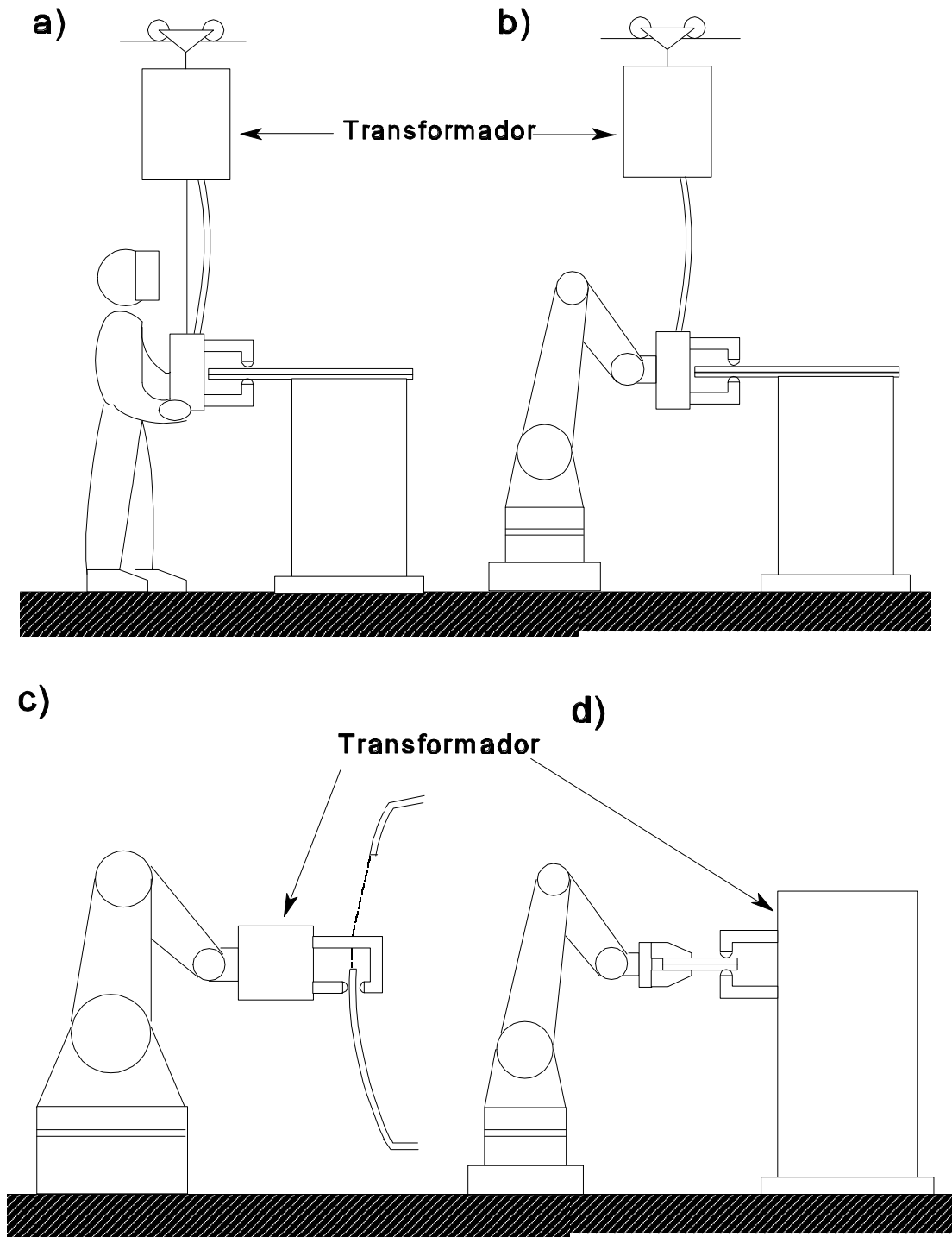
Procés

Consisteix en la soldadura de dues làmines de metall, sense material d'aportació, mitjançant la fusió local (els punts) causada per l'efecte Joule d'un corrent elèctric de gran intensitat que travessa les làmines o xapes (Fig. 5.41). Les principals fases del procés de la soldadura per punts són:

a) Primer, es posiciona el punt de referència de la pinça en el lloc on es vol realitzar el punt; *b)* Després, s'estrenyen l'una contra l'altra les dues xapes que cal soldar, per assegurar el contacte elèctric i la pressió de soldadura; *c)* Durant un temps molt breu, es connecta una tensió baixa (de pocs volts) que provoca un corrent de gran intensitat. L'intens efecte Joule produeix una fusió localitzada de les xapes de metall; *c)* Finalment, cal esperar un breu instant perquè la zona soldada se solidifiqui (els dits de la pinça duen un sistema de refrigeració per aigua) i s'obre la pinça. El temps de realització d'un punt és inferior a un segon.

Aquesta operació s'havia realitzat tradicionalment amb una pinça de soldadura manipulada directament per un operador humà, treball que resultava pesat i monòton, a més de ser susceptible de múltiples errors (oblit de punts, punts mal situats, etc.). Tanmateix, el gran volum de soldadura per punts que exigeix el "cosit" de les carrosseries a la indústria de l'automòbil va fer que molt aviat es busquessin solucions per a la seva automatització. Així, doncs, l'any 1969 la General Motors va instal·lar els primers robots de soldadura per punts. Avui dia és una de les aplicacions dels robots industrials que ha tingut una difusió més gran, tant a la indústria de l'automòbil, com en d'altres indústries (fabricació d'electrodomèstics, construcció de mobles metàl·lics, etc.).

La figura 5.25 mostra les diferents etapes de l'aplicació de la soldadura per punts. En el treball manual, el transformador (element pesat i voluminós de l'equip) se situava penjat del sostre. Els primers robots industrials de soldadura per punts van "imitar" aquesta disposició, però el cable donava lloc a una rigidesa excessiva, per la qual cosa es va optar per col·locar el transformador en el terminal junt a la pinça. Avui dia, s'ha iniciat un nou canvi d'estratègia en què es manipula la peça sempre que sigui possible, mentre que la màquina de soldadura per punts resta fixa.

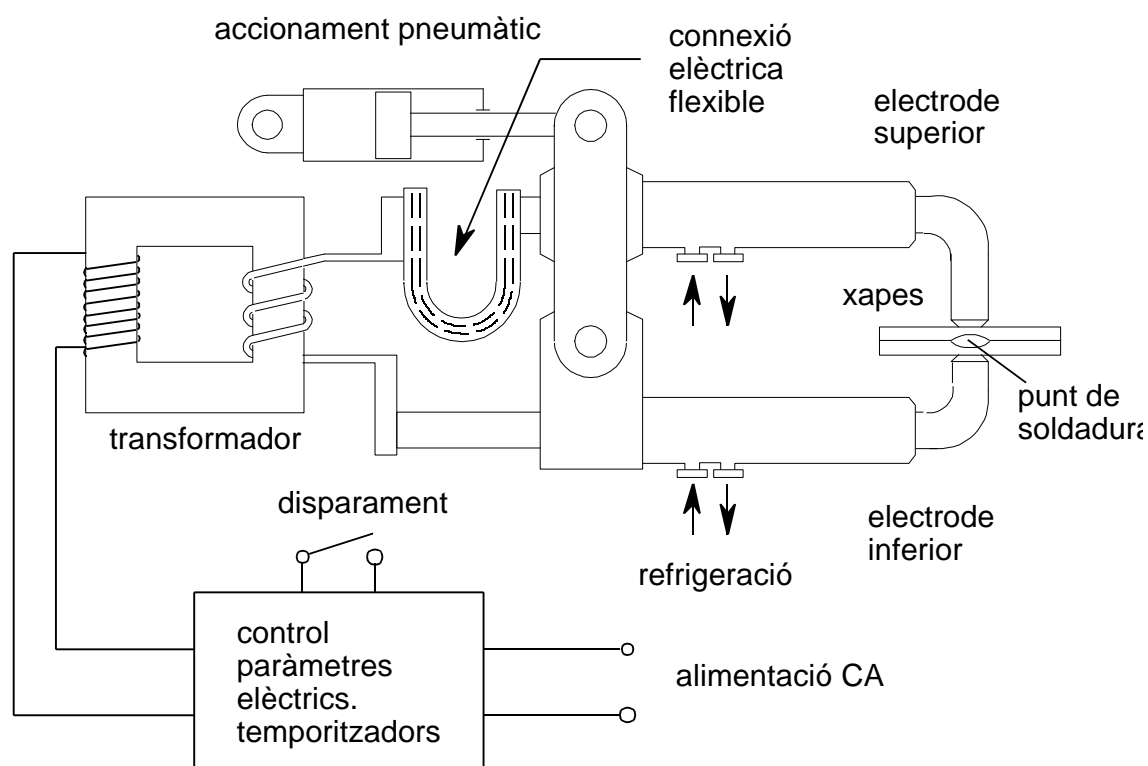


Diferents etapes de la soldadura per punts: *a)* soldadura per punts manual; *b)* primera automatització de la soldadura per punts amb robot; *c)* solució actual de la soldadura per punts; *d)* darrera tendència: quan la peça és manipulable, fer fixa la màquina de soldadura per punts.

Figura 5.25

Terminal i equip complementari

L'equip de la soldadura per punts inclou, doncs, a més de la *pinça de soldadura per punts* pròpiament dita, l'accionament de la pinça (generalment pneumàtic), el transformador, els conductors entre el secundari del transformador i els electrodes (necessàriament gruixuts i rígids), i un sistema de refrigeració, generalment per aigua (Fig. 5.26). Si s'agrupa tot aquest equip en el terminal, dóna lloc a un conjunt pesant i voluminós.



Terminal i equip de soldadura per punts

Figura 5.26

Característiques del robot

És convenient que el robot de soldadura per punts reuneixi el següent conjunt de característiques:

Estructura mecànica. Teòricament, l'aplicació exigeix un grau de mobilitat 5 (el punt té simetria radial). En algunes aplicacions, amb punts tots en un mateix pla, n'hi ha prou amb un robot de grau de mobilitat 3 o 4), però necessitats d'accessibilitat (especialment en carrosseries d'automòbil) recomanen la utilització d'estructures articulades de mobilitat més gran (6 i, de vegades, 7 i més en funció d'eixos suplementaris). En la seva configuració més estesa, en què el terminal inclou el transformador, cal un robot d'estructura robusta, amb una càrrega nominal superior a 50 kg. La repetibilitat ha de ser moderadament bona. L'espai de treball ha de ser adequat a la tasca realitzada, i les velocitats i acceleracions convé que siguin altes.

Programació i control. En general els robots de soldadura per punts es programen per guiatge per mitjà de la cònsola de guiatge. La memòria del programador ha de tenir una capacitat suficient per a acumular, no tan sols el gran nombre de punts que comporten moltes de les aplicacions, sinó un canvi freqüent de programa corresponent a variants del producte. La soldadura per punts és una aplicació típica del *control posa a posa*.

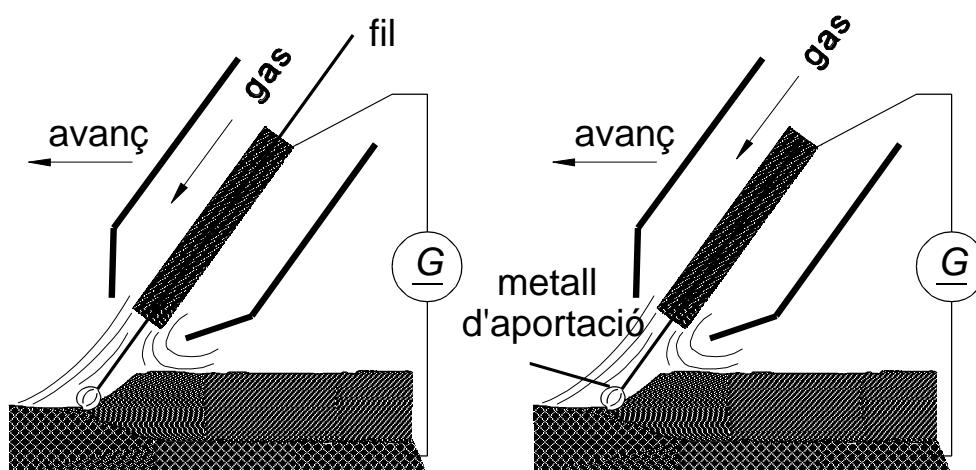
5.5 Soldadura per arc

Procés

Consisteix en la formació d'una costura d'unió contínua gràcies a la fusió dels materials a causa de la temperatura generada per un arc elèctric. L'arc, que salta entre l'*electrode* unit al terminal i la peça metàl·lica que es vol soldar, és creat per una tensió baixa (inferior a 30 V) i comporta corrents elevats (superiors a 100 A).

La soldadura per arc més difosa és la que utilitza electrodes revestits (el revestiment proporciona la protecció per evitar l'oxidació durant la soldadura), de consistència rígida, que tenen una longitud entre 200 i 300 mm. En el procés es consumeixen ràpidament i han de ser renovats, cosa que no representa un inconvenient greu quan la tasca es realitza manualment. En la robotització de la soldadura per arc s'han difós, doncs, les soldadures per fil continu, ja que d'aquesta manera s'evita la interrupció del procés per canviar l'electrode.

El fil continu és flexible i no té revestiment protector. Per resoldre aquesta qüestió en la soldadura a l'arc per fil continu, es crea un raig d'un gas protector al voltant de l'electrode en la zona de fusió: si el gas és inert (Ar, He) s'anomena soldadura per arc MIG (*metal inert gaz*), mentre que si és CO_2 s'anomena soldadura per arc MAG (*metal active gaz*).



a) Soldadura per arc MIG/MAG b) Soldadura per arc TIG

Figura 5.27

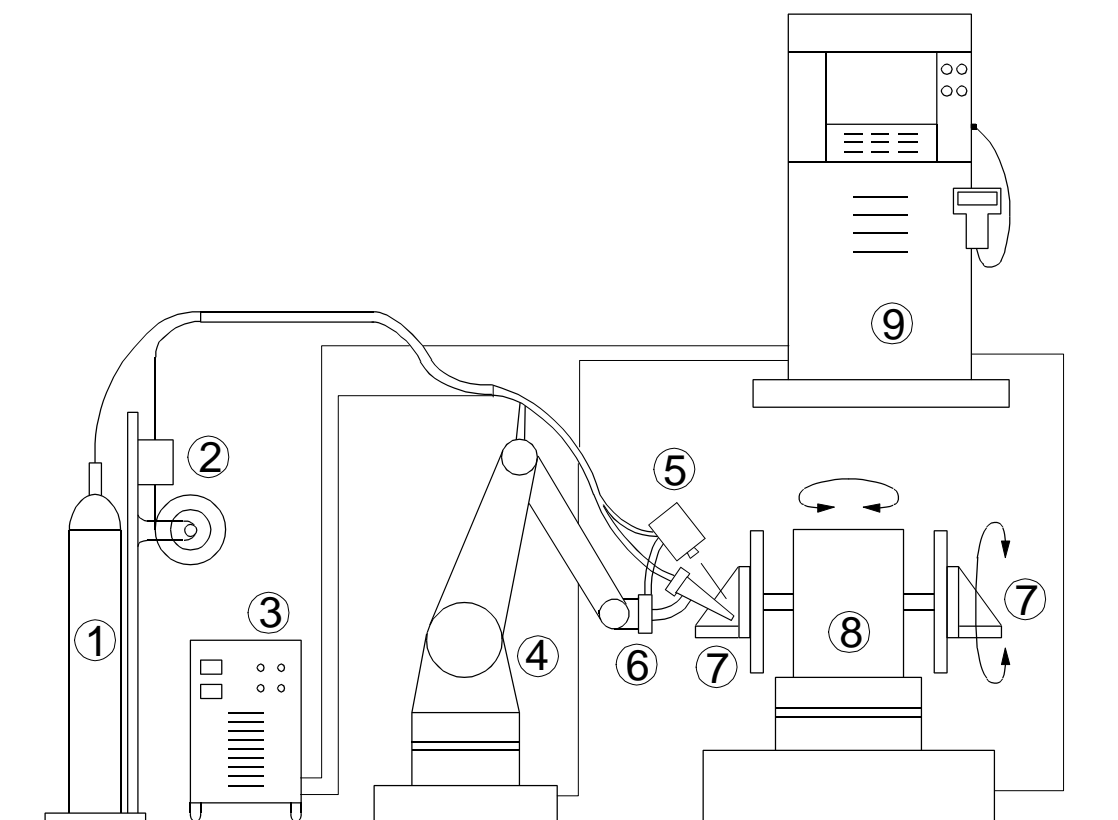
La soldadura per arc exigeix una bona precisió en la distància entre l'electrode i la peça, condició que, a la soldadura feta a mà, és assegurada per l'habilitat de l'operari. A la soldadura per arc realitzada per un robot, les irregularitats han de ser compensades per un dels dos mètodes següents: a) assegurant que les peces s'ajustin a toleràncies molt estretes (encareix les operacions anteriors); b) dotant el sistema robòtic de sensors per mesurar aquestes variacions i permetre la correcció de la trajectòria.

Entre els sistemes de sensors més utilitzats, hi ha els següents: b1) *sensor de contacte*, que fa un moviment oscil·latori per a detectar els dos costats de la soldadura; b2) *sensor per arc*, que es basa en la mesura de característiques del mateix arc (el robot es programa perquè el terminal vagi fent una oscil·lació entre els dos costats de la soldadura); b3) *sensors basats en la visió*, en què hi ha una càmera situada prop de la torxa de soldadura i explora el camí que haurà de seguir el cordó (avui dia existeixen *sensors per làser* que, per mitjà d'una oscil·lació lateral del raig, realitzen una mesura òptica tridimensional)

Terminal i equip complementari

L'equip de la soldadura per arc inclou, doncs, a més de la *torxa de soldadura per arc* pròpiament dita, la bobina i el sistema d'impulsió del fil, l'equip de soldadura, el sistema d'alimentació del gas protector i, eventualment, el sistema de seguiment de la unió (Fig. 5.28).

En general, la necessitat d'alimentació de l'estació de treball, així com problemes d'accessibilitat, fan recomanable la utilització d'una taula posicionadora que, a més d'oferir dos, o més, punts de subjecció de la peça (l'estació de treball i l'estació de càrrega i descàrrega), faciliten 1 o més eixos de mobilitat complementària.



- 1 Bombona de gas; 2 Bobina i impulsó del fil; 3 Equip de soldadura;
 4 Robot de soldadura per arc; 5 Càmera de seguiment de la costura;
 6 Torxa de soldadura per arc; 7 Peça soldada; 8 Taula posicionadora;
 9 Unitat de control

Figura 5.28

Característiques del robot

És convenient que el robot de soldadura per arc reuneixi les característiques següents:

Estructura mecànica. Teòricament es necessita un grau de mobilitat 5 per a aquesta tasca (simetria radial), però els problemes d'accessibilitat fan que s'utilitzin robots amb grau de mobilitat 6. A més, freqüentment, es complementa amb una *taula posicionadora*, que afegeix 1 o més eixos al sistema. L'estructura articulada del robot pot ser relativament lleugera, ja que l'eina pesa poc. L'espai de treball s'ha d'adequar a la dimensió de la peça que cal soldar. És convenient que la repetibilitat i precisió de trajectòria siguin bones. No és necessari que la velocitat sigui gaire elevada.

Programació i control. En general els robots de soldadura per arc es programen per guiatge tot fent recórrer al terminal la trajectòria que després haurà de recórrer. Per a trams de soldadura rectes, és bo de disposar de sistemes d'interpolació, amb la qual cosa n'hi ha prou de marcar els punts inicial i final. Com s'ha comentat, algunes aplicacions requereixen un moviment oscil·latori del puny per controlar l'arc, moviments que poden ser programats pel mateix sistema. El robot ha de tenir un *control per trajectòria contínua*, amb un control precís de la velocitat d'avanç. La unitat de control del robot industrial sovint controla també l'equip de soldadura, l'avanç del fil i els moviments de la taula posicionadora, tot i que aquestes missions també poden estar encomanades a un controlador extern.

5.6 Pintura per projecció

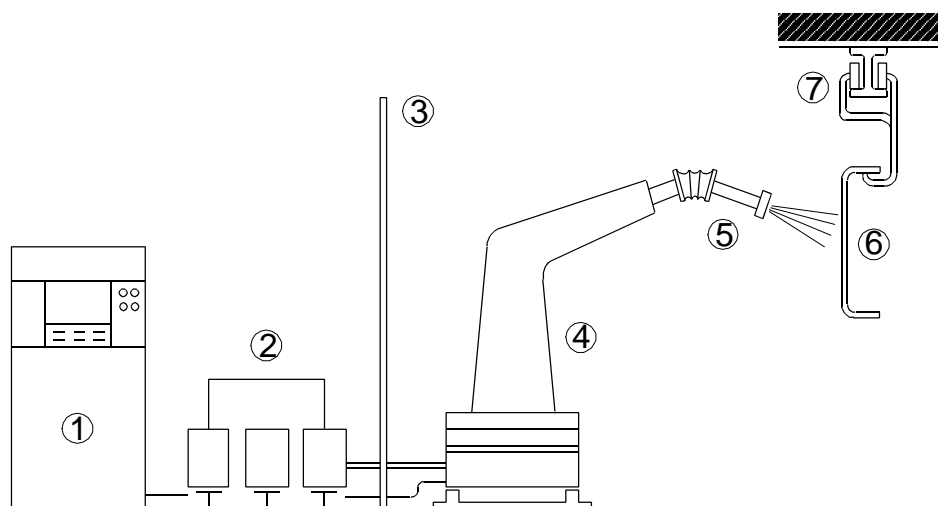
Procés

Consisteix en un recobriments per projecció en què l'eina, la pistola de pintura, és guiada per un robot industrial. Aquests treballs realitzats per operaris humans són feixucs i resulten perillosos per a la salut (atmosfera viciada, vestits especials, màscares de respiració, soroll agut de la pistola; obliguen a fer la instal·lació de cabines aïllades amb sistemes de ventilació). A més, una instal·lació de pintura sempre revesteix risc de foc.

Per tant, la pintura per recobriment va essent progressivament automatitzada per mitjà de robots industrials. En la forma més habitual de treballar hi ha una cadena que condueix lentament les peces i un o més robots que guien la *pistola de pintar* la qual evoluciona davant de la peça. En general, el procés es manté aïllat en una cabina o túnel.

Terminal i equip complementari

El terminal és la *pistola de pintar*, constituïda fonamentalment per una tovera per on flueix la pintura a pressió la qual és pulveritzada a la sortida a causa de la disminució sobtada de la pressió. L'equip complementari està constituït pels dipòsits de pintura, sistemes de dosificació, bomba d'impulsió de la pintura, dispositius de neteja quan hi ha canvi de pintura, etc. Hi ha paràmetres del procés, com, per exemple, la connexió/desconnexió de la pistola, la pressió del fluid, eventualment pressió de l'aire injectat, etc., que han de ser controlats des del sistema de control del robot.



1 Unitat de control; 2 Equip de pintura; 3 Protecció de la cabina de pintura; 4 Robot de pintura; 5 Pistola de pintar;
6 Peça pintada; 7 Cadena de pintura

Figura 5.29

Característiques del robot

És convenient que el robot de pintura per projecció reuneixi les característiques següents:

Estructura mecànica. Teòricament, la tasca de pintura requereix un grau de mobilitat 5 (simetria radial de la projecció); tanmateix, acostumen a tenir 6 i més eixos per millorar l'accessibilitat. La seva estructura pot ser lleugera, ja que l'eina pesa poc (menys de 10 kg), però ha de tenir una gran mobilitat (especialment en el puny) per reproduir amb facilitat els moviments de l'operari humà. L'espai de treball convé que sigui de grans dimensions i centrat davant del robot. No cal una bona precisió ni repetibilitat, però són convenients velocitats elevades.

Els robots de pintura treballen en un ambient inflamable i, per tant, s'ha preferit l'accionament hidràulic a l'elèctric (també pels moviments ràpids, però poc precisos dels primers); per evitar explosions, es fa circular aire de l'interior de l'estructura mecànica (que conté els motors) vers l'exterior. Amb el desenvolupament de nous motors elèctrics sense escobretes (sense perill d'espurnes) amb prestacions millorades, s'han construït els primers robots de pintura elèctrics.

Programació i control. La pintura per projecció té un component important de destresa que difícilment pot ser programat si no és per mitjà del guiatge manual per un operador experimentat. Això demana poder posar l'estructura del robot en una situació de "mà morta" (equilibrada, però sense oferir resistència). Una possibilitat en robots de pintura és l'ús d'un *maniquí* (rèplica de l'estructura més lleugera i no motoritzada) que, a més de facilitar la tasca de programació, permet realitzar aquesta tasca fora de línia.

La unitat de control ha de realitzar un *control de trajectòria contínua*, amb control de la velocitat. Això comporta una capacitat d'emmagatzematge de dades important, augmentada pels freqüents canvis de programa corresponents a peces diferents.

El sistema de control, per mitjà del programa, ha de realitzar algunes funcions de control del procés, com són el cabal de pintura, la pressió del fluid i la connexió o desconnexió de la pistola de pintar.

Un requisit per a un bon acabat del procés de pintura és mantenir la pistola de pintar neta. Aquesta operació, que consisteix en col·locar l'eina sota uns raigs de disolvent que netegen les toberes, ha de programar-se intermitentment.

5.7 Altres operacions de procés

A les seccions anteriors s'han analitzat les tres aplicacions més consolidades dels robots industrials en operacions de procés: *soldadura per punts* (un 10% dels robots instal·lats al món, i a Espanya, on la indústria de l'auto-mòbil té un pes molt gran, més d'un 30%), *soldadura per arc* (quasi un 17% dels robots del món i prop d'un 25% a Espanya) i *pintura per projecció* (un 2% en el món, i prop d'un 3% a Espanya). El conjunt d'aquestes aplicacions ocupa, doncs, un 30% de parc mundial de robots i un 60% del parc espanyol de robots.

Tanmateix, són molt nombroses les aplicacions dels robots industrials a altres operacions de procés i algunes han anat consolidant una tecnologia pròpia. Entre aquestes val la pena destacar:

Aplicació de segelladors i d'adhesius. Procés que consisteix a formar un cordó de material segellador, o d'adhesiu, sobre un perfil d'un objecte (càrter, parabrises, etc.). En general, l'aplicació es fa a favor de la gravetat i, per tant, l'estructura del robot és senzilla (cartesià, Scara, etc.); és necessari un control de la trajectòria contínua i la coordinació de la dosificació del material amb la velocitat d'avanç.

Desbarbament, poliment i altres operacions d'acabament. En general, el robot industrial guia una eina motoritzada, però també pot treballar a la inversa, això és, manipulant la peça contra l'eina. Quan l'eina és rígida, cal o bé muntar-la de forma que floti o bé utilitzar un sensor de força en el puny per fer les correccions corresponents.

Perforació, roscatge i altres operacions de mecanització. Com en el cas anterior, el robot pot manipular l'eina o la peça. Per a la perforació el puny ha d'exercir una força que és bo controlar, i cal una bona precisió i una bona repetibilitat. En el roscatge, un cop posicionada inicialment l'eina, cal sincronitzar el moviment de gir i el d'avanç.

Tall per làser i per raig d'aigua. El principi de tall és diferent en els dos casos (làser de gran potència, en el primer cas, i raig d'aigua a al·tíssima pressió, en el segon), però el procés és molt semblant en els dos casos, en què el robot manipula el capçal amb l'eina. Generalment l'operació s'executa en dues dimensions, per la qual cosa es pot dubtar de l'eficàcia d'utilitzar un robot per a aquesta tasca.

5.8 Muntatge i inspecció

Tant les tasques de *muntatge* com les d'*inspecció* han ocupat tradicionalment un volum molt important de mà d'obra, i comporten operacions que demanen una gran flexibilitat i una gran capacitat d'adaptació. A la majoria de processos de fabricació manufacturats, les deficiències de disseny, els defectes de fabricació i altres incorreccions es van acumulant fins a arribar al muntatge, on la destresa humana les resol i proporciona un producte de funcionament apte. El *muntatge* i la *inspecció* constitueixen, doncs, la confirmació de la bondat de tot el procés de fabricació anterior i les empreses asseguren la qualitat del seu producte per mitjà d'aquestes tasques. Per tant, és una etapa de la fabricació determinant.

Els costos de mà d'obra de *muntatge* i d'*inspecció* han anat esdevenint cada cop proporcionalment més grans dintre del procés productiu (poden representar entre un 30 i un 50% del cost del producte), per la qual cosa darrerament s'han concentrat esforços importants per automatitzar-ne les tasques, avui dia sota un criteri de flexibilitat. El primer intent ha consistit a reproduir les tasques realitzades manualment, però les dificultats trobades han conduït els esforços en una altra direcció: el redisseny del producte i la simplificació al màxim de les tasques de *muntatge* i *inspecció*.

A continuació s'analitzen breument les característiques d'aquests dos processos, així com l'aplicació que s'hi fa dels robots industrials.

Muntatge

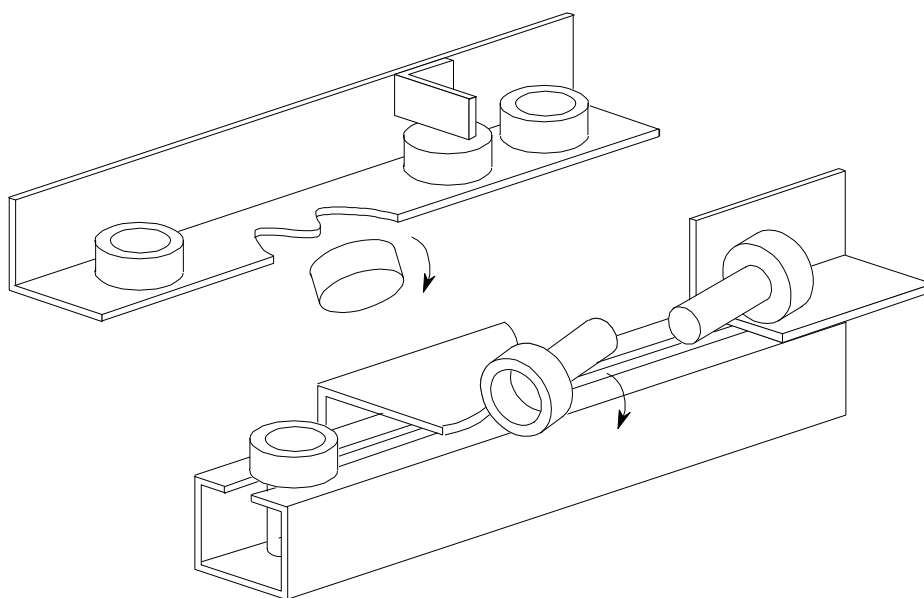
Procés

Consisteix en la col·locació relativa de diverses peces i en la seva fixació de manera que constitueixin un conjunt més complex que realitzi una funció determinada; per tant, implica un augment del valor afegit del conjunt respecte a les seves parts. El *muntatge* va més enllà de la *manipulació*, en exigir la interacció de peces entre elles i amb elements circumdants.

Les tasques principals que comporta un procés de muntatge automatitzat són les que es descriuen a continuació:

a) *Alimentació de peces i components.* Per a un funcionament correcte del procés de muntatge, les peces i els components que han de formar el conjunt han de ser alimentades de forma ordenada i orientada, a fi que el sistema les pugui prendre correctament amb facilitat. Les formes principals d'alimentació de peces i components són:

Recipients vibratoris. Són contenidors de peces petites, que inicialment es troben en situació desordenada; gràcies a un moviment vibratori, les peces van avançant per unes rampes fins al punt d'alimentació. En aquestes rampes se situen elements de decantació que obliguen les peces a orientar-se correctament, o bé les fan caure altre cop al recipient (Fig. 5.30).



Alimentadors de recipient vibratori amb elements de decantació

Figura 5.30

Subministrament amb suport. Alguns components electrònics se subministren amb una cinta de suport que uneix ordenadament una sèrie d'elements iguals; algunes peces de plàstic poden estar unides per l'excedent de material del procés d'injecció. Aquests elements i peces no seran tretts del seu suport fins al moment de muntatge.

Bandes transportadores. Les peces avancen sobre una banda transportadora orientades per l'etapa de manipulació anterior.

Palets. Són contenidors compartimentats, o amb suports, on es col·loquen de forma ordenada un determinat nombre de peces iguals. L'alimentació a partir d'un palet comporta una despaleització (Sec. 5.3).

b) *Operacions de muntatge.* Són aquelles que contribueixen directament a la formació del conjunt. Hi ha les següents:

Juxtaposició de peces i components. Consisteix en la situació de diverses peces i components en les posicions relatives adequades i, generalment, és una fase anterior a la fixació

Inserció. Consisteix en la introducció d'un element mascle en un element femella de la mateixa forma amb toleràncies estretes. Per facilitar la inserció calen determinats moviments per salvar errors de paral·lelisme o d'alineació (*acomodació*); això es pot obtenir per mitjà d'un mecanisme que reaccioni passivament a les forces generades en el procés d'inserció (*acomodació passiva*; vegeu Fig. 5.31), o bé mesurar les forces i moments en el puny mitjançant un sensor i generar les accions de correcció corresponents (*acomodació activa*).

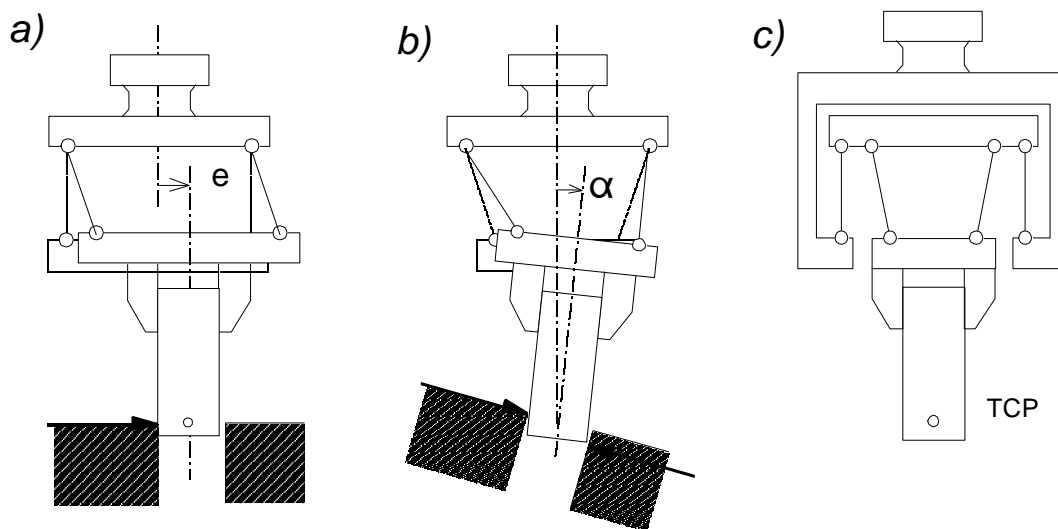
c) *Operacions de fixació.* Són totes aquelles operacions destinades a fixar els elements i components entre si. Les principals són:

Unions cargolades reblonades. Operacions de fixació clàssiques en el muntatge manual. Malgrat que s'han desenvolupat eines específiques per a la seva automatització, tendeixen a ser eliminades pel temps que comporten (Fig. 5.32).

Engalletament. Unions formades per elements elàstics en forma de pla inclinat que, gràcies a una simple força, entren en un sentit, però queden retingudes en el sentit contrari. Tendeixen a substituir les unions cargolades i reblonades.

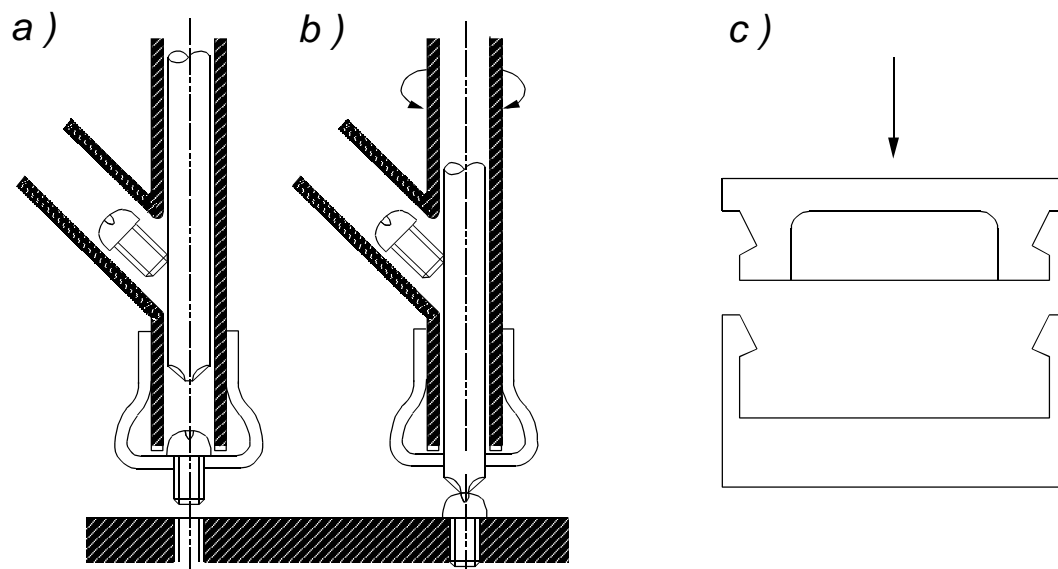
Engrapament. Unions formades per la deformació plàstica d'alguns elements que n'empresonen d'altres. En general es realitza en màquines especials, ja que exigeix una força excessiva per al robot.

Soldadura, adhesius. Unions formades com a tancament o compleció en la formació d'un conjunt. Són procediments relativament freqüents en sistemes de muntatge amb robots.



Dispositiu d'acomodació de centre remot (RCC, *remote centre compliance device*);
 a) Amb acomodació lateral; b) Amb acomodació angular; c) Amb les dues

Figura 5.31



a) i b) Eina automàtica per carregar; c) Sistema d'engatellament

Figura 5.32

Característiques dels robots

Estructura articulada. Hi ha tres configuracions especialment aptes per a les tasques de muntatge:

Robot Scara. Estructura de 4 eixos especialment concebuda per facilitar la inserció vertical de peces amb gran precisió i rapidesa. S'adapta bé a la fabricació en grans sèries.

Robot cartesià. Estructura de 4 o, com a màxim, 5 eixos, amb una bona precisió, una calibratge fàcil i algorismes de control simples. Acceleracions limitades a causa de les importants masses que mou.

Robot pendular. Estructura esfèrica suportada per una articulació Cardan, amb l'eix de translació que es mou al voltant d'una direcció vertical. Combina una accessibilitat excel·lent (puny de tres eixos) amb una bona precisió i una alta velocitat.

Programació i control. Els muntatges per juxtaposició es poden basar en un sistema de programació i control senzill; quan hi ha sistemes d'acomodació, especialment si és activa, la unitat de control ha de poder fer control de força, o control híbrid desplaçament-força.

L'aplicació de robots industrials a l'automatització de tasques de muntatge comporta, en general, una reconsideració del disseny i del procés.

Inspecció

La inspecció és una operació de control de qualitat que, per mitjà de mesuraments o de comprovacions, determina si hi ha conformitat amb les especificacions prèviament establertes. En automatitzar la inspecció, algunes peces o característiques poden ser inspeccionades al 100%.

En la inspecció, el robot industrial pot actuar o bé manipulant la peça, o bé l'eina de mesurament o de comprovació. La visió artificial és, cada vegada, un suport més gran en aquestes tasques.

6 Implantació i estudi de casos

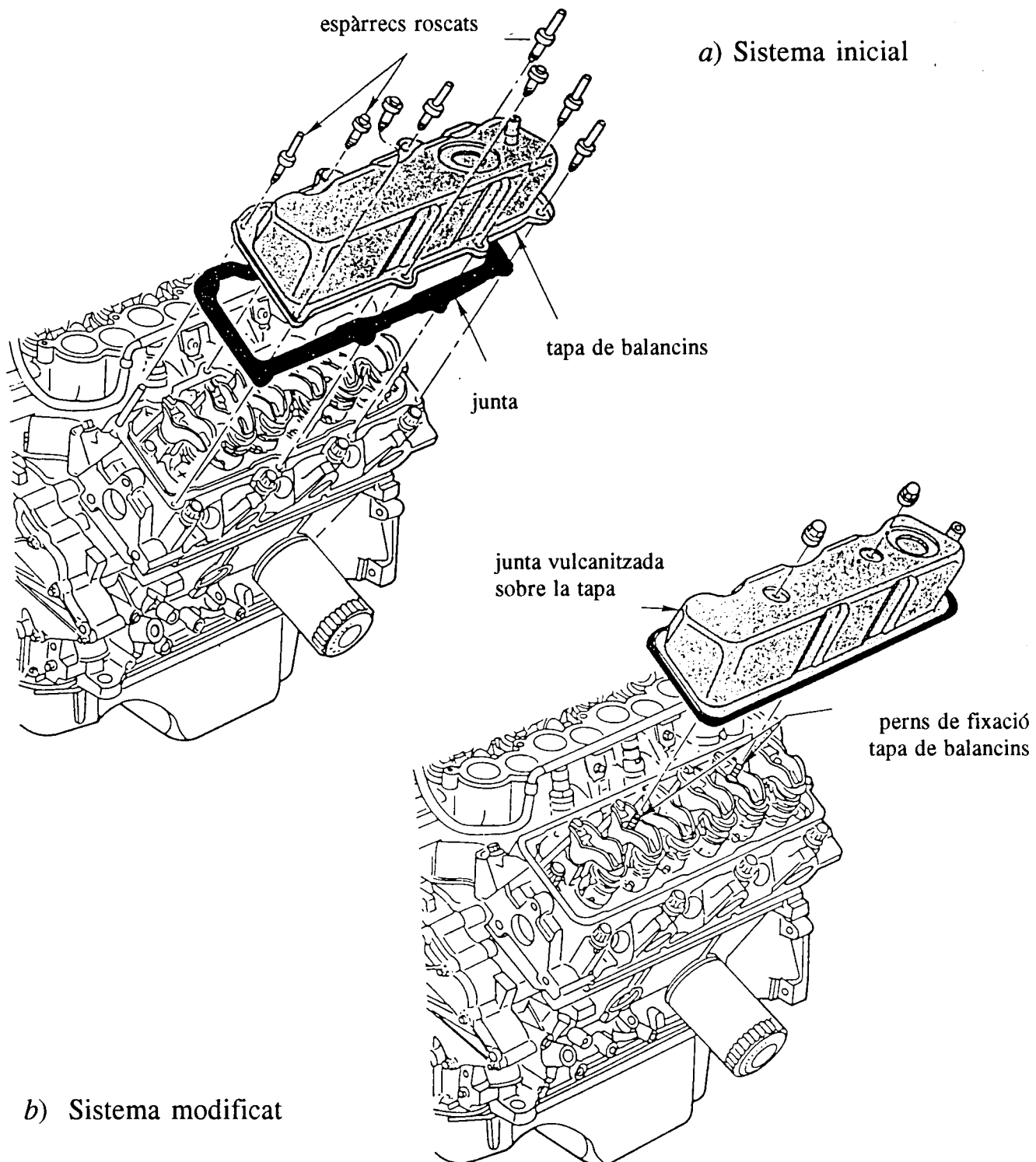
6.1 Selecció d'aplicacions

El primer impuls en dissenyar l'aplicació d'un robot industrial en un procés productiu és simplement el de substituir la tasca que realitza un operari. Però aquest no acostuma a ser el camí més adequat, tal com es veurà a les planes que segueixen.

En efecte, l'*home* posseeix una gran intel·ligència i un potent sistema sensorial que confereixen al seu treball una gran destresa i versatilitat, però la seva activitat es veu sotmesa a la fatiga física i a l'avorriment, factors que poden ser motiu d'errors i d'accidents. Per contra, el *robot industrial* és enormement limitat amb referència al sistema sensorial i a la intel·ligència, però en canvi és molt més repetitiu en els moviments i les tasques, malgrat que les seqüències siguin llargues, i no presenta cansament.

Dos exemples. El robot industrial necessita un sistema d'alimentació amb una entrada i una sortida de peces; si no es preveu correctament, es produeix una distorsió permanent de tot el procés productiu. Un altre aspecte que s'ha de tenir en compte és el nivell de precisió de les peces. En una fabricació i en un muntatge manuals, els operaris ajusten les faltes de precisió i els errors, mentre que el robot industrial atura el procés.

Per tant, a fi d'aprofitar les noves possibilitats dels robots, tot evitant els seus inconvenients i limitacions, és recomanable la reconsideració tant del disseny del producte com de les característiques del procés de fabricació. La figura 6.1 mostra un canvi recent del disseny del producte (la tapa de balancins d'un motor d'explosió) i del procés, realitzat per l'empresa Ford, pensat especialment per facilitar l'automatització en el muntatge.



Reconsideració del disseny d'una tapa de balancins d'un motor d'explosió
 Objectiu: facilitar l'automatització del muntatge

Figura 6.1

A continuació es descriu una seqüència lògica dels passos que cal recórrer en la implantació d'un sistema d'automatització que inclogui robots industrials:

Familiarització inicial amb la tecnologia. Aquest és un aspecte important que implica dedicació i formació. L'aplicació anterior de sistemes de control numèric, o d'autòmats programables, facilita la introducció.

Revisió de productes i de processos. Aquesta revisió permetrà analitzar l'interès d'automatitzar determinades tasques (productes amb moltes variants, feines feixugues o de risc, tasques molt repetitives, tasques de 3 torns, etc.).

Selecció de l'aplicació. Aquesta és la fase decisiva, l'encert de la qual determinarà l'èxit posterior de la implantació. En aquesta fase s'ha de decidir el robot industrial i tot l'equip perirobòtic.

Anàlisi econòmica i presa de decisió. Convé fer una avaluació global reallista dels costos que tindrà l'operació i del termini d'amortització. Avui dia existeixen suficients precedents d'aplicació perquè els errors d'avaluació puguin ser limitats.

Planificació de l'enginyeria de la instal·lació. Disseny de la cèl·lula de fabricació, amb la instal·lació i els serveis annexos. Simulació del seu comportament. Previsió de canvis organitzatius. Modificacions en el disseny del producte, i en els processos de fabricació.

Instal·lació i posada en marxa. Adequació o implantació de subministraments i serveis. Implantació o trasllat de maquinària. Posada a punt i ajust del sistema, i primeres proves de funcionament.

6.2 Simulació gràfica

Com ja s'ha comentat a la secció 3, hi ha dues formes bàsiques de programar la tasca d'un robot industrial: *per guiatge* i *per llenguatge*. La primera és la més utilitzada avui dia en els robots implantats a la indústria, i la majoria de les vegades es realitza amb l'ajuda del mateix robot (*programació en línia*), prenent un temps que es detreu del de producció. Però també cada dia són més els robots que disposen dels dos tipus de llenguatge.

Quan la programació del robot respon a una tasca relativament repetitiva, sense bifurcacions, la programació per guiatge és adequada, però quan la tasca es realitza en el si d'una cèl·lula de fabricació més complexa, amb incidències que poden obligar a prendre decisions i a ajustar els cicles i els temps de treball, la programació per llenguatge pren tot el sentit.

La programació convencional per llenguatge resulta molt laboriosa, i tot fa pensar que el seu desenvolupament anirà associat a la simulació per mitjà de sistemes gràfics assistits per ordinador (CAE-Robòtica), com a nova interfície home-màquina més potent i amigable. Aquests sistemes, que van començar com una ajuda a la programació, han anat evolucionant i actual-ment ofereixen les funcions, les característiques i els avantatges següents:

a) Funcions dels sistemes de simulació gràfica:

- a1) Disseny de la cèl·lula de fabricació, i ajuda per a la disposició de les màquines, equips i utillatges
- a2) Programació de tasques (*fora de línia*)
- a3) Verificació per mitjà de la simulació dels moviments i de les operacions d'una tasca

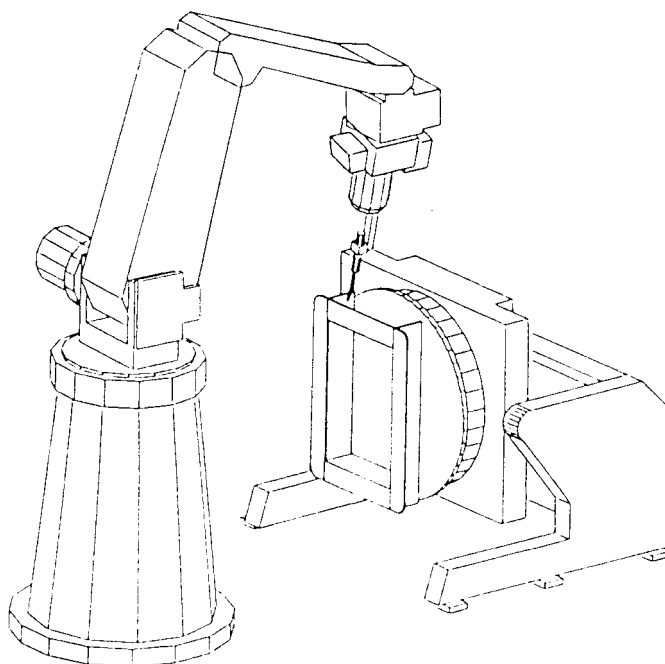
b) Característiques dels sistemes de simulació gràfica:

- b1) Modelització dels elements que intervenen en la cèl·lula (models de filferro, models de superfícies, models de sòlids); els models de filferro no permeten detectar col·lisions.
 - b1.1) Es poden incorporar els models de robots més habituals a partir de biblioteques preestablertes.
 - b1.2) L'establiment de connectivitats entre elements rígids, per mitjà d'un *arbre lògic de connectivitat*.
- b2) Definició de la tasca, amb els moviments, velocitats, instruccions de comunicació i relacions amb altres elements de la cèl·lula. La definició de la tasca és independent del robot utilitzat.
 - b2.1) Es pot escriure el programa separatament per a cada dispositiu, en forma de subprogrames.
 - b2.2) Es pot generar, per mitjà d'un postprocessament, el programa de control del robot o d'altres dispositius de la cèl·lula en el llenguatge corresponent a cada un.

b3) Simulació gràfica dels moviments i seqüència d'operacions de la cèl·lula robotitzada corresponents a una tasca. Permet ajustar trajectòries, sincronitzar moviments, detectar col·lisions, estimar el temps del cicle de treball i analitzar diferents tipus d'incidències.

c) *Avantatges dels sistemes de simulació gràfica:*

- c1) La programació d'una tasca es realitza amb un llenguatge únic comú, obviant la gran diversitat de llenguatges de programació de cada un dels elements que intervenen en la cèl·lula.
- c2) El desenvolupament de programes *fora de línia* (sense usar el robot ni altres elements de la cèl·lula) fa molt més rendible les inversions realitzades, en disminuir molt els temps de posada a punt i augmentar el temps de disponibilitat de l'equip.
- c2) L'ús de sistemes de simulació gràfica constitueix una tècnica potent i efectiva per preparar i posar a punt programes de tasques de gran complexitat.



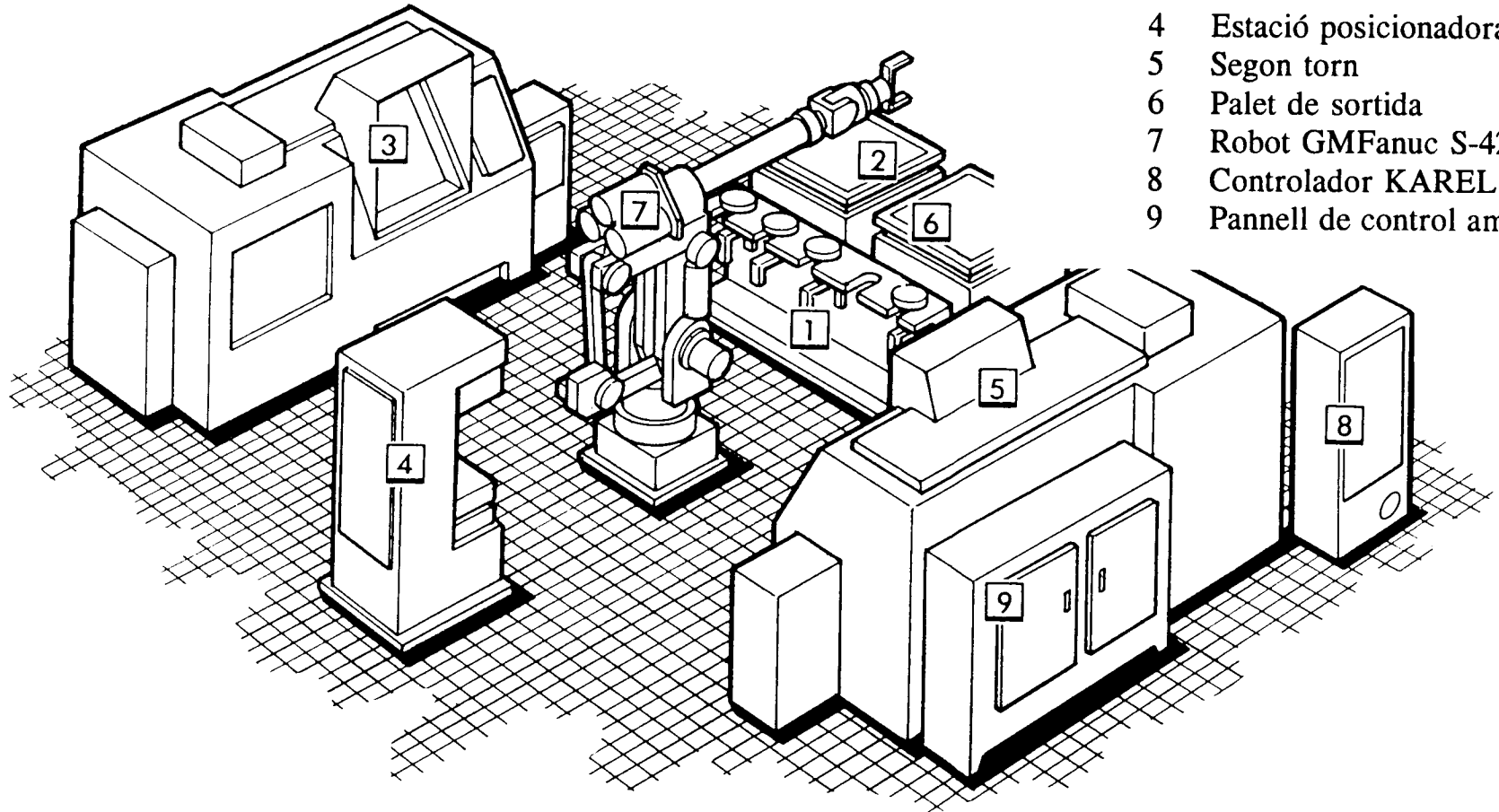
Modelització d'una aplicació de soldadura per arc realitzada amb el programa de simulació GRASP

Figura 6.2

Client	Consideracions sobre el disseny del sistema	Solucions adoptades per a un sistema integrat
<p>Empresa, líder en el seu camp, que fabrica vàlvules reductores de pressió destinades a les indústries del paper, química, petroquímica i altres d'anàlogues. La seva producció, que comprèn diversos models de vàlvules, és d'unes 7.500 unitats al mes.</p>	<p><i>Distribució en planta</i></p> <ul style="list-style-type: none"> * Falta d'espai * Dimensions dels equips * Canalitzacions de serveis <p><i>Característiques de les peces</i></p> <ul style="list-style-type: none"> * Més de 70 peces per cèl·lula * Des de diàmetres de 12 a 300 mm * Pesos des de 0,1 fins a 16 kg <p><i>Requeriments del cycle de temps</i></p> <ul style="list-style-type: none"> * Es requereix un canvi ràpid * Des de cada 2 fins a 16 minuts <p><i>Interfície entre màquines</i></p> <ul style="list-style-type: none"> * Diferents models de torns * Disseny de mordasses; * Senyals de les màquines <p><i>Flux del procés</i></p> <ul style="list-style-type: none"> * Canvi de dimensions de les peces * Operacions per peça * Canvi de seqüència d'operacions * Cicles curts i llargs. Temps total <p><i>Facilitat d'operació</i></p> <ul style="list-style-type: none"> * Interfície de l'operador * Manteniment * Seguretat 	<p>4 cèl·lules similars: un robot S-420 serveix 2 torns, el magatzem d'eines, les estacions de palets i l'estació posicionadora.</p> <p>L'anàlisi de la gamma de peces determina les necessitats de manipulació, les pinces i els palets especials. La càrrega nominal del robot S-420 s'ajusta a la gamma.</p> <p>Una pinça doble facilita un canvi ràpid de peces a les màquines. El canvi automàtic de pinça proporciona flexibilitat i estalvia temps.</p> <p>Cada cèl·lula té un PLC per controlar els torns i l'obertura de portes. La interconnexió es realitza per mitjà d'E/S digitals. El disseny de la pinça facilita l'accés en els torns.</p> <p>Les pinces faciliten el canvi de dimensions. L'estació posicionadora programable assegura una premsió adequada de les peces per a la segona operació. Els programes KAREL governen la seqüència de la cèl·lula.</p> <p>Forma operatòria fàcil, gràcies al <i>software</i> de càrrega/descàrrega. Sistema complet de documentació sobre incidències i manteniment. Dispositiu de seguretat a les interfícies per a protecció contra xocs de la pinça. Sistema d'entrenament.</p>
Enunciat de l'aplicació		
<p>Fabricació de més de 280 components diferents de vàlvules reductores de pressió en 4 cèl·lules de mecanització. El cycle de treball és el següent:</p> <p>a) El robot S-420 pren una pinça adequada del magatzem d'eines, es dirigeix al palet d'entrada i pren una peça en brut.</p> <p>b) El robot es dirigeix al primer torn i, amb la segona pinça (pinça doble, no mostrada a la figura), retira la peça acabada i carrega la peça en brut.</p> <p>c) Les peces sotmeses a dues operacions requereixen que el robot les situï en l'estació posicionadora per assegurar una premsió i una orientació correctes.</p> <p>d) El robot carrega el segon torn, després de retirar la peça acabada, i col·loca la peça acabada en el palet de sortida.</p>		

Figura 6.3

Descripció de la cèl·lula



- 1 Magatzem de canvi d'eines
- 2 Palet d'entrada
- 3 Primer torn
- 4 Estació posicionadora
- 5 Segon torn
- 6 Palet de sortida
- 7 Robot GMFanuc S-420
- 8 Controlador KAREL
- 9 Pannell de control amb PLC

La reproducció d'aquesta documentació ha estat autoritzada per FANUC Robotics Ibérica S.L.

**Sistema robòtic de pintura
de frontals de xapa d'acer**
(Sistema no mostrat)

**Sistema robòtic de pintura
de cabines de furgonetes descobertes**
(sistema mostrat a la figura)

Client

General Motors, a la seva planta de Janesville, on es realitza la pintura dels frontals i de les cabines de tota la gamma de furgonetes descobertes.

Enunciat de l'aplicació

Es tracta de dues aplicacions de pintura per projecció mitjançant l'ús de sistemes robòtics: una, de pintura de frontals de xapa d'acer i, l'altra, de pintura de cabines de furgonetes descobertes (la que es mostra a la figura).

Algunes particularitats dels dos sistemes són:

- a) Quan el treball següent canvia de color de pintura, el sistema impulsa un corrent lleuger d'aire que deixa la línia amb un mínim de pintura quan s'ha acabat l'anterior tasca.
- b) Després de completar cada treball, i durant la transferència d'un conjunt al següent, el robot elimina les restes de pintura en el dispositiu de neteja de la pistola de pintar.

El sistema pinta 44,8 frontals per hora, per mitjà de 4 robots industrials GMF de sis eixos, amb una base mòbil que es desplaça linealment sobre un altre eix.

Els frontals són transportats per uns carrets i l'operador de la línia introdueix a la cònsola manual de control de la línia el tipus de pintura i el color desitjats.

En una àrea intermèdia, un segon operador verifica les dades del treball i, en cas d'haver-hi una incorrecció, té la possibilitat de corregir o canviar la informació.

Quan els frontals entren en l'estació robòtica, dos robots apliquen la primera capa de pintura. S'usen trajectòries simètriques per assegurar una distribució de la pintura uniforme en ambdós costats. Més endavant, dos robots més donen la segona capa de pintura.

És usat un setè eix cartesià a la base per realitzar el moviment de seguiment de la línia de carrets. Si el moviment de la línia de frontals canvia de velocitat o s'atura, un cop iniciada la pintura, el procés no s'atura fins a completar la tasca.

El sistema robòtic de pintura de cabines és capaç de pintar-ne 18 per hora, tant si són de dues com de quatre portes, corresponents a tota la gamma de furgonetes descapotables de General Motors.

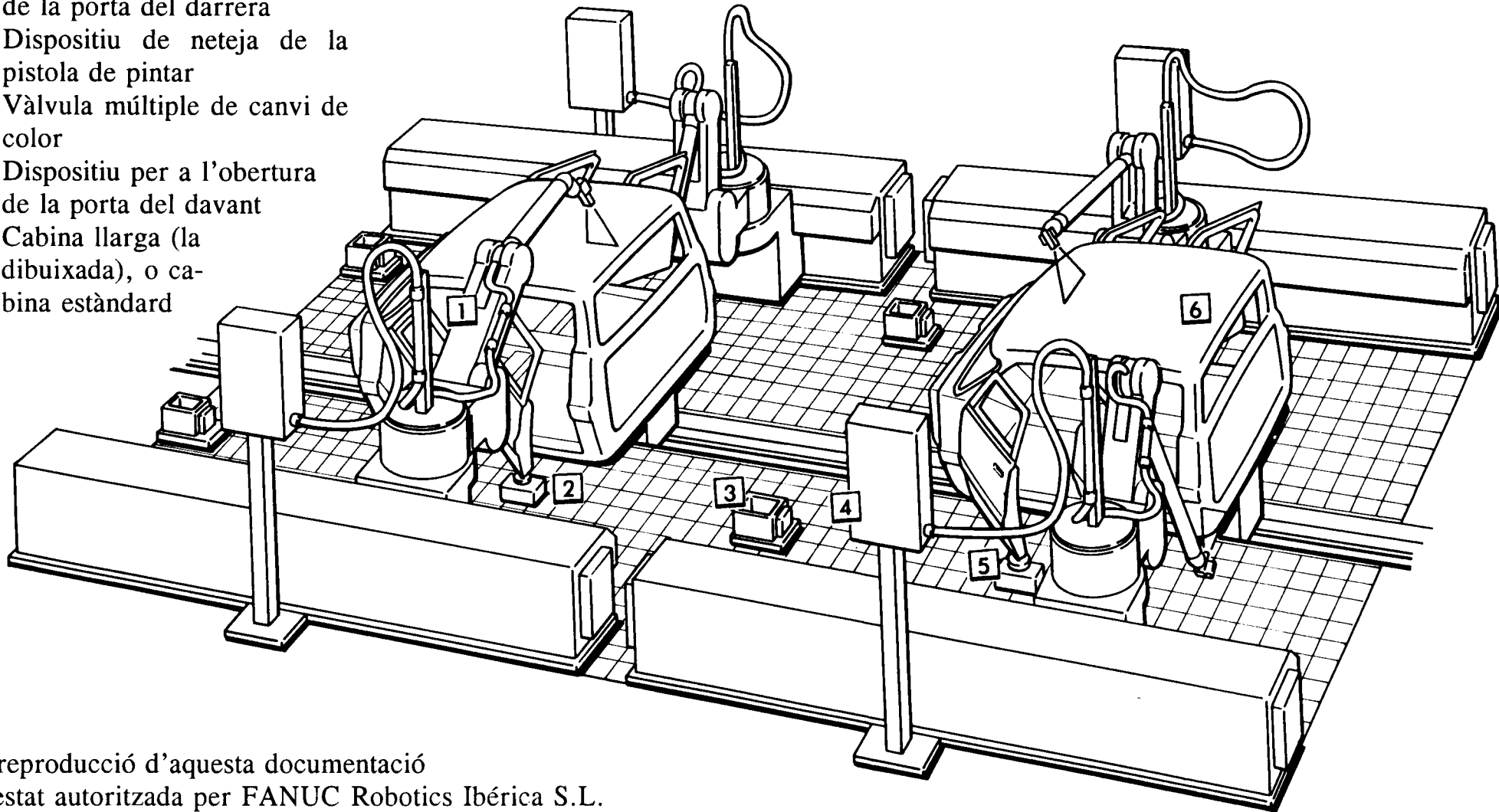
La informació sobre el tipus de pintura i el color que cal aplicar són introduïdes al sistema d'una forma anàloga a la del sistema robòtic de pintura de frontals. Les cabines entren a la línia muntades sobre uns carrets.

El sistema robòtic incorpora uns dispositius per a l'obertura de les portes, accionats pneumàticament, a fi de facilitar al robot l'accés a l'interior del vehicle.

Descripció de la cèl·lula

- 1 Robot industrial GMF P-150
- 2 Dispositiu per a l'obertura de la porta del darrera
- 3 Dispositiu de neteja de la pistola de pintar
- 4 Vàlvula múltiple de canvi de color
- 5 Dispositiu per a l'obertura de la porta del davant
- 6 Cabina llarga (la dibuixada), o cabina estàndard

Figura 6.4



La reproducció d'aquesta documentació
ha estat autoritzada per FANUC Robotics Ibérica S.L.