

INTELLIGENTE VORRICHTUNGEN IN DER ROBOTISIERTEN FERTIGUNG

Karol VELÍŠEK¹, Ferenc ALPEK²

Autoren: ¹ Doc. Ing. Karol Velíšek, CSc., ² Assoc. Prof., Prof. HC.Dr. Ferenc Alpek, PhD.

*Arbeitsplatz: ¹ Lehrstuhl für technologische Anlagen und Systeme, Fakultät für
Materialwissenschaft und Technologie, STU*

*² Technische und Wirtschaftswissenschaftliche Universität Budapest,
Fakultät für Maschinenbau*

*Adresse: ¹ Bottova 23, 917 24 Trnava, Slovak Republik
tel: 00421 33 5521164, E-mail: velisek@mtf.stuba.sk*

Einführung

In der konventionellen Fertigung soll die Mehrheit von Operationen durch die Hilfe von Bedienern durchgeführt und überwacht werden (menschliche Mitwirkung und Überwachung).

In der automatisierten Fertigung sollen die Operationen ohne menschliche Anwesenheit und Mitwirkung automatisch realisiert werden (bedienarme oder bedienlose Betriebsart). Die hier nötigen Fertigungsmittel (mechanische Peripherien der Fertigung: Werkzeugen, Vorrichtungen, Messmittel) haben eigene Antriebe und eine auf Sensordaten basierte Steuerung. Diese heißen wir intelligente mechanische Peripherien.

Zur Realisierung der bedienarmen oder bedienlosen Betriebsart in der automatisierten Fertigungsoperationen soll die Rolle des Bedieners teilweise durch Sensoren ersetzt werden, wobei zahlreiche Überwachungsaufgaben (Objekterkennung, Lage- und Positionserkennung, Kraft- und Drehmomentüberwachung und visuelle Überwachung der Operationen) gelöst werden sollen.

Die Verringerung der Stückzahlen und die Kurzlebigkeit der Produkte erfordern mehr und mehr Flexibilität und Intelligenz in der industriellen Produktion. Die Flexibilität ist jene Fähigkeit, die eine sehr schnelle Umstellung auf neue Produkte ermöglicht. Durch die Verwendung von flexiblen und intelligenten Robotersystemen können auch Klein- und Mittelserien, durch die Senkung der Erzeugungskosten, rentabel hergestellt werden. Diese flexiblen und intelligenten Systeme sind wesentlich komplizierter im Aufbau und deswegen schwieriger zu entwickeln als die automatische Produktion der einzelnen Teile in der Massenfertigung (durch Sondermaschinen).

Die Verfasser werden über ihre Ergebnisse auf dem Gebiet der Entwicklung von intelligenten Vorrichtungen einen kurzen Überblick geben.

Intelligente mechanische Roboterperipherien – Anforderungen

Die neuen Tendenzen erfordern, dass ein Roboter mehrere Arbeitsschritte, Operationen erledigen, realisieren kann (Erkennen, Greifen, Positionieren, Fügen, Kleben, Nieten, Pressen, Verschrauben, Schweißen, Entgraten, Lackieren, Funktionsprüfung), diese können meist nicht durch ein Universalwerkzeug ausgeführt werden, sondern erfordern den Einsatz mehrerer spezialisierter Fertigungsmittel, Peripherien (End-Effektoren und Vorrichtungen).

Nach den verschiedenen Definitionen und Literaturquellen gehören zu den mechanischen Roboterperipheriegeräten die folgenden Mittel:

- Alle Endeffektoren (Greifer, Greifer- und Werkzeugwechselsysteme, Werkzeuge für die mechanische Bearbeitung und Montage, Schweißbrenner und Punktschweißzangen, usw.),
- Spann-, Dreh-, Kippvorrichtungen, usw.,
- Zuführ- und Ausführeinrichtungen,
- andere aufgabenspezifische Einrichtungen.

Im allgemeinen gibt, daß, je intelligenter der Roboter ist, um so einfachere und preiswertere Peripheriegeräte benötigen werden. Es ist deshalb oft sinnvoll, einen teureren, mit Sensoren ausgerüsteten Roboter einzusetzen und relativ einfache und universelle mechanische Peripherien zu verwenden. In der Praxis einsetzen aber heutzutage viele Roboter ohne oder mit wenigen Sensoren, deshalb sollen oft spezielle, sensorisierte Peripherien entwickelt werden um die Zuverlässigkeit der Operationen und die Qualität der Produkte steigern zu können.

Die Anzahl der Effektoren, die am letzten Gelenk des Roboters montiert werden können und damit das Werkstück handhaben, bearbeiten, montieren, prüfen, etc. ist fast unbegrenzt. Ziemlich alles was von Hand geführt werden kann, kann meist genauer und zuverlässiger auch durch einen Roboter geführt werden. Während der Produktionsautomatisierung soll die Rolle von Bedienern in der Überwachung durch Sensoren ersetzt werden, um Havarien, Kollisionen rechtzeitig erkennen und beseitigen zu können. Zu den mechanischen Peripherien gehören im allgemeinen alle Einrichtungen und Vorrichtungen, die Durchführung der robotisierten Fertigungsoperationen helfen, ermöglichen. Sie sind teilweise universelle, handelsübliche Geräte, aber die Mehrheit von ihnen sind aufgabenorientierte, nichthandelsübliche Fertigungsmittel, die meistens der Roboteranwender entwickeln und fertigen muß. Die intelligenten Peripherien empfangen von der Robotersteuerung Steuersignale oder/und sie zu ihr senden, da sie verschiedene Sensoren haben.

Die Steigerung der Zuverlässigkeit der robotisierten Operationen kann nur durch Messung und Überwachung von wichtigsten mechanischen Größen (Kräfte, Drehmomente, visuelle Informationen) durchgeführt werden.

Um den Einsatz mehrerer verschiedener Werkzeuge zu ermöglichen, müssen diese zwischen den Arbeitsschritten, Operationen gewechselt werden können. Die Summe der Massen aller Endeffektoren würde bei dem Einsatz eines Revolversystems (Werkzeughalters) die Tragfähigkeit des Roboters überschreiten, und es wäre nicht genug Platz vorhanden, um alle benötigten Greifer und Werkzeuge unterzubringen. Für die Lösung dieses Problems brauchen die Roboteranwender einen Greifer- und Werkzeugwechsler. Drei verschiedene, sensorisierte Werkzeugwechsler wurden in den letzten Jahren am Lehrstuhl für

Fertigungstechnik an der TU Budapest entwickelt, die im nachfolgenden Abschnitt erläutert werden.

Aufgrund der vorher erwähnten zahlreichen technischen Anforderungen an das Wechslersystem müssen folgende Aufgaben gelöst werden:

1. einfache und sichere Wechselbarkeit der aufzunehmenden Greifer bzw. Montagewerkzeuge,
2. hohe (von der Aufgabe abhängige) Positionierungs- und Wiederholgenauigkeit,
3. entsprechende Tragfähigkeit, statische und dynamische Steifigkeit,
4. Festhalten des jeweils eingesetzten Greifers bzw. Montagewerkzeugs bei Energieausfall,
5. zuverlässige und verlustfreie Energie- (elektrische, pneumatische, Vakuum, evtl. hydraulische) und Signalübertragung zwischen dem Roboter und dem Greifer bzw. dem Montagewerkzeug,
6. Überwachung des Betriebszustandes des Schließ- und Öffnungsmechanismus (ob das eingesetzte Montagewerkzeug bzw. der Greifer positioniert und befestigt bzw. ausgelöst ist),
7. eventuelle zusätzliche Möglichkeit des Ausstoßes zum sicheren Lösen des jeweiligen Werkzeugs und Greifers,
8. geringe Wechselzeit,
9. geringes Eigengewicht, kleine Abmessungen.

Aufbau und Wirkungsweise eines Werkzeugwechslers

Ein Werkzeugwechsler besteht aus zwei Teilen. Erstens dem aktiven Teil mit einem Schließ- und Öffnungsmechanismus, aus Zylindern, Sensoren für die Überwachung, Input- und Outputkontakten für Energie- und Signalübertragung, usw. Dieser wird in das letzte Robotersegment eingebaut. Zweitens dem passiven Element. Dieses wird auf den Endeffektor (Greifer, Werkzeug) montiert. Das Wechslersystem kann durch die Robotersteuerung geöffnet und verriegelt werden. Die Überwachung der unterschiedlichen Arbeitsschritte kann durch verschiedene Sensoren verwirklicht werden, die meistens in den Endeffektor eingebaut sind.

Eine aktive Komponente besitzt mehrere Gegenstücke mit Greifern und Werkzeugen, die an einer wohldefinierten Position und Orientierung im Greifer- und Werkzeugspeicher untergebracht sind. Wenn im Arbeitsprozess ein bestimmtes Werkzeug erforderlich wird, geht der Roboter zu dieser Position im Werkzeugmagazin, holt sich den dort untergebrachten Endeffektor und legt ihn nach der Durchführung der Operation wieder in der vorherigen Position und Orientierung ab. Die Verfügbarkeit der Greifer und Werkzeuge kann mit Mikroschaltern, Näherungsschaltern oder Optoschaltern einfach und zuverlässig überwacht werden. Die binären Signale dieser einfachen Sensoren geben ihre Information an die Robotersteuerung über deren Input-Kanäle.

Das Zusammenfügen (Positionierung) der beiden Teile des Werkzeugwechslers wird durch zwei spezielle Zentrierzapfen und Hülsen verwirklicht, die einen geringen Positionierfehler des Roboters durch einen kleinen Spielraum ausgleichen können.

Die ersten beiden entwickelten Werkzeugwechsler unterscheiden sich durch einige wesentliche Eigenschaften. Bei dem einen werden die beiden Teile mit Hilfe von Druckluft (pneumatisch) zusammengehalten, bei dem anderen wird das mit Hilfe einer einfachen mechanischen Vorrichtung (eines linearen Bajonettverschlusses) erreicht. Außerdem unterscheiden sie sich aufgrund der Tragfähigkeit und des Eigengewichts. Da der kleinere Wechsler aus einem Plastikgehäuse (Metamid) gefertigt ist, eignet er sich zum Einsatz mit Robotern, die nur eine geringe Belastbarkeit haben. Ein Roboter mit einer Tragfähigkeit von 2,5 kg wäre mit dem pneumatischen Wechslersystem schon fast ausgelastet und es bliebe nur wenig Spielraum für die Handhabung eines Werkstückes oder eines Werkzeuges.

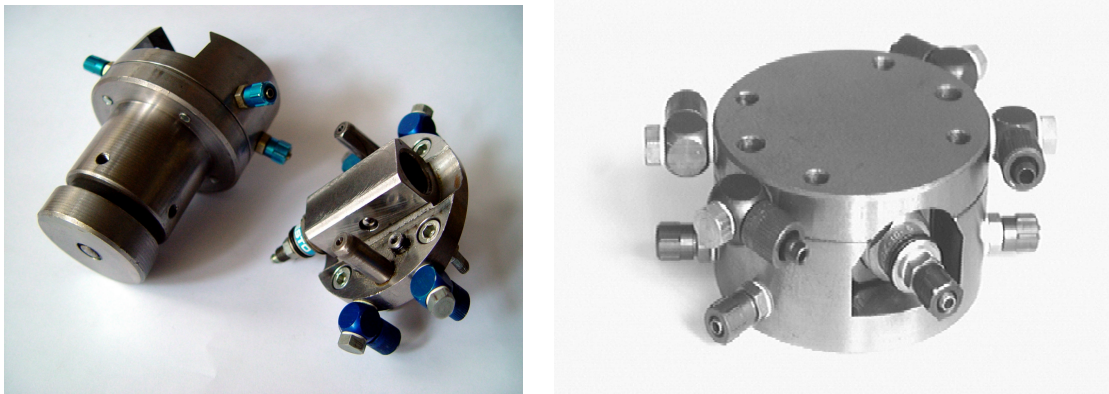


Abb. 1 Werkzeugwechsler

Der dritte Wechsler ist im Prinzip eine Weiterentwicklung der beiden vorherigen, er wurde nur unter Laborbedingungen getestet und hatte bis jetzt keinen Praxiseinsatz (Abb. 1.).

Der Verschluss wird durch Mikroschalter, Näherungsschalter, oder Optoschalter, überwacht und befindet sich im aktiven Teil. In die Symmetrieachse des ersten Wechslers ist ein Ausstoßzylinder eingebaut, wodurch das Gegenstück mit einer Kraft von 150 N auseinander geschoben werden kann. Das Zylindergehäuse dient hier auch zur ungefähren Zentrierung der Gegenstücke. Außerdem verfügen die Wechsler über je einen mit einem O-Ring abgedichteten Anschluss zur Weiterleitung der Leistungsdruckluft, (6 bar) und zwei weiteren Bohrungen an der Stirnseite der aktiven und passiven Stücke zur Übertragung der Steuerdruckluft.

Die elektrische Signalübertragung wird durch vier Federkontakte ermöglicht, die sich auch an der Stirnseite des Wechslergehäuses befinden und gegenüber diesem isoliert sind. Der Wert für die übertragbare Nennspannung und den Nennstrom kann $24\text{ V}; 2\text{ A DC}$ sein. Zu beachten ist ferner, dass für die Haltbarkeit, für die hohe Lebensdauer der Kontakte ausschlaggebend ist, dass sie nur im spannungslosen Zustand gekoppelt und geöffnet werden dürfen [2].

Einsatz von Werkzeugwechslersystemen

Die vorher vorgestellten Wechslersysteme wurden in der Montagezelle, des Labors am Lehrstuhl für Fertigungstechnik der TU Budapest erfolgreich getestet und eingesetzt.

Eine Anwendung des ersten Wechslersystems war die Montage der hinteren Lampen (Rücklichter) eines Gelenkautobusses durch einen Industrieroboter, vom Typ Nokia Puma 760. Das Rücklicht bestand aus Lampenfassung (Gehäuse) mit Glühlampe sowie Abdeckglas mit Dichtung. Vier Blechschrauben befestigen die Fassung an der Rückwand des Busses und sollen das Abdeckglas und die Lampenfassung zusammenhalten, befestigen. Dazu sollen zuerst vier Bohrungen ($\varnothing 3,2$ mm) in die hintere Wand des Busses gefertigt werden. (Leider wurden diese beim Stanzen nicht gelocht. Diese Konstruktion war nicht montagegerecht). Dann wird die Lampenfassung positioniert, eingesteckt und mit vier Schrauben fixiert.

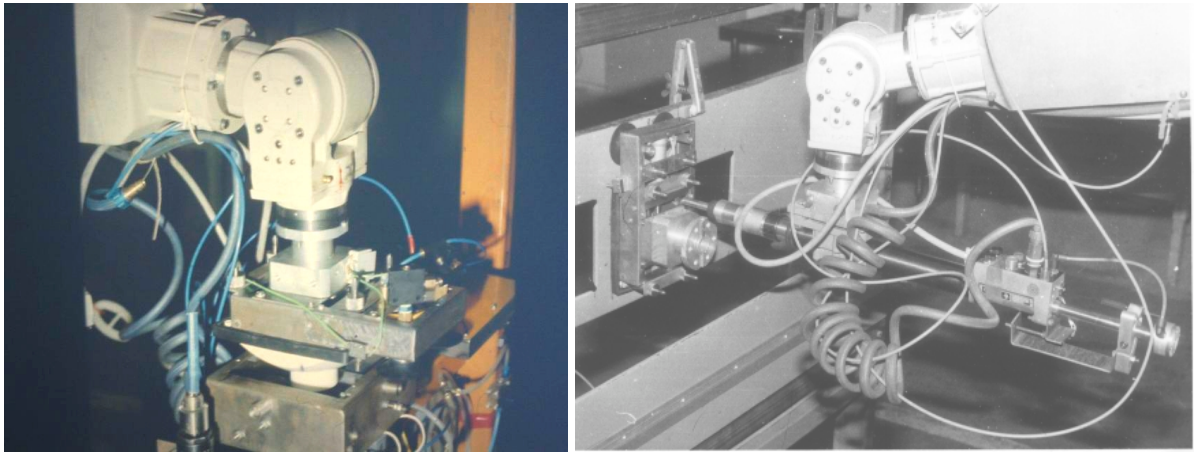


Abb. 2 Intelligenter Greiffer und pneumatische Schraubeinheit bei der Montage

Für diesen Montageprozess werden sieben verschiedene mechanische Peripherien verwendet:

1. eine Bohrvorrichtung mit vier Hülsen,
2. eine pneumatische, handelsübliche Bohr-Vorschubeinheit (Desoutter),
3. zwei spezielle Greifvorrichtungen für die Lampenfassung und das Abdeckglas (eine spezielle Vorrichtung zum Einschrauben der Glühlampe mit einem Bajonett-Verschluss),
4. ein spezieller Greifer für die Handhabung und Einschrauben von Glühlampen,
5. zwei pneumatische, handelsübliche Schraubeinheiten (Desoutter).

Ausser den handelsüblichen Peripherien wurden die speziellen Vorrichtungen selbst entwickelt und hergestellt [8].

Montagezelle zur robotisierten Vormontage von Thermoschaltern

Der Thermoschalter von Haushaltswaschmaschinen vom Typ MMG T5 besteht aus 8 Elementen. Die Vormontage von Schaltergehäusen aus Keramik und der Kontaktfeder aus Kupfer soll automatisch durchgeführt werden. Die entwickelte Zelle besteht aus drei Manipulatoren, einem Transportband mit zwei Paletten, zwei Bunkern (Vibratoren), zwei Vibrationsfördern und einer Pressvorrichtung. Die weiteren Montageoperationen werden manuell durchgeführt. Die Zelle wurde an der Universität Janus Pannonius Pécs mit der Hilfe der TU Budapest entwickelt.

Die erste Operation ist die Handhabung des Keramikgehäuses auf die Palette. Die Positionierung der Paletten im Arbeitsraum erfolgt durch pneumatisch betätigte Zylinder. Die Orientation des Gehäuses vor der Handhabung wird durch einen optischen Näherungsschalter (in Reflexionsbetriebsart) überprüft (Bild 3.). Wenn es nötig ist, wird das Gehäuse des Theroschalters um 180 Grad durch den ersten Manipulator (Firma Martonair) gedreht um die richtige Orientation zu erreichen. Das Gehäuse wird danach durch den Manipulator auf die Palette gestellt. Im Laufe der zweiten Operation wird die Kontaktfeder durch den zweiten Manipulator (Martonair) in die Öffnung des Gehäuses eingeschoben.

Während der nächsten Operation wird die untere Kante der Kontaktfeder durch einen hydro-pneumatischen Zylinder plastisch deformiert um die Befestigung der Kontaktfeder im Gehäuse zu realisieren. Zur Befestigung von zu montierenden Elementen während der plastischen Deformation dient ein anderer pneumetischer Zylinder, der in den oberen Teil der Pressvorrichtung eingebaut wurde (Bild 4.). Nach der Operation wird ein Richtungswechsel des Transportbandes durch einen induktiven Näherungsschalter aktiviert und das Band geht in die Ausgangsposition zurück. Hier wird die Entnahme der vormontierten Einheit aus der Zelle durch den dritten Manipulator, der von uns entwickelt und hergestellt wurde, durchgeführt. Zwei handelsübliche und ein von uns entwickelter spezieller Greifer werden eingesetzt.

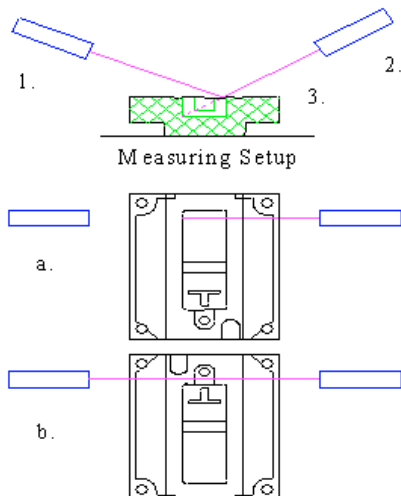


Bild 3. Messanordnung zur Überwachung der Orientation des Gehäuses des Theroschalters

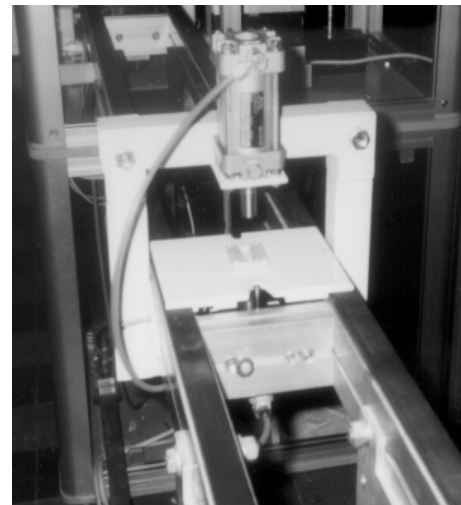


Bild 4. Intelligente Vorrichtung zur plastischen Deformation der Kontaktfeder

Die Steuerung der Zelle wird durch eine PLC-Steuerung vom Typ SIEMENS S5 101 U gelöst. Die Signalübertragung zwischen der Steuerung und den Elementen (Ventilen und Sensoren) wird durch I/O Kanäle der PLC durchgeführt. Die Zykluszeit beträgt 30 Sekunden.

Steigerung der Intelligenz von mechanischen Peripherien

Die Aufgaben der mechanischen Peripherien bestehen aus der Positionierung, der Befestigung, von Werkstücken und der Führung, der Betätigung von Werkzeugen während der

Operationen. Eine von intelligenten Funktionen, "Dienstleitungen von mechanischen Peripherien ist die Spannkraftüberwachung", bzw. die spannkraftregelung von Greifern und Spannvorrichtungen um die Beschädigungen der dünnwandigen, empfindlichen Teile oder das Ausfliegen der schweren Werkstücke aus dem Greifer, Spannvorrichtung zu verhindern, zu beseitigen.

Spannkraftüberwachung- und regelung von Robotergrifern, Spannvorrichtung

Die Spannkräfte (Momente), die auf das System "Greifer-handhabende Teile" wirken, hängen von verschiedenen Faktoren ab. Mit der Hilfe eines Rechnerprogramms können die aktuellen Soll-Spannkräfte berechnet werden, um die Schädigung der dünnwandigen, empfindlichen Teile oder das Ausfliegen der schweren Werkstücke aus dem Greifer zu verhindern. Dazu sollen die Soll-Kräfte nicht nur ausgerechnet, sondern automatisch geregelt, gemessen und überwacht werden. Da bei kleinerer Tragfähigkeit die Roboter für gewöhnlich über pneumatische Greifer verfügen, kann die Luftdruckregelung als einzige realisierbare Methode eingesetzt werden. Um die entsprechende Regelungsstufe festzustellen, sollen die technisch sinnvollen und realisierbaren Möglichkeiten und die Kosten analysiert werden. Die Zuverlässigkeit der Handhabung, d.h. des Spannens, erlaubt eine etwas breitere Toleranz der Spannkraft, bzw. abhängig von den Spannkraft-Spannweg-Funktionen kann sich die aktuelle Spannkraft in größerem Maße ändern.

Unseren Erfahrungen gemäß ist es genügend und kostengünstig, den Luftdruck in Stufen von $0,5 \text{ bar}$ zu regeln. Die Spannkraftüberwachung mittels auf Fingern eingestellten Meßelemente ist eine teurere und technisch kompliziertere Lösung, aber so kann eine Real-Time-Überwachung durchgeführt werden. Der Greiferwechsel ist bei dieser Lösung entweder nicht realisierbar oder verlangt eine zusätzliche elektronische Lösung. Die Überprüfung der eingestellten Spannkraft mit einer in der Umgebung des Roboters aufgestellten Kalibrierkraftmeßdose ist eine weitaus billigere Lösung, aber sie gibt nur bei der Kalibrierung Informationen über die Spannkraft und nicht während des Handhabungs- oder Montageprozesses.

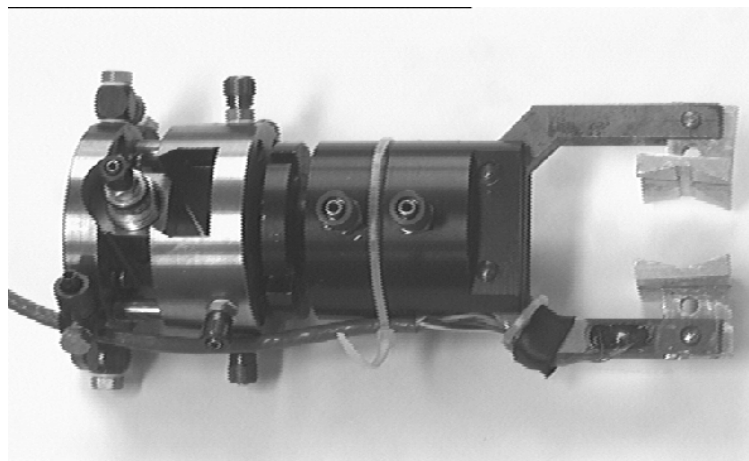


Bild 5. Werkzeugwechsler (links) und Robotergreifer mit Kraftmeßfinger

Der in den Greifer eingebaute "Meßfinger" ist im Bild 5.(rechts) zu sehen. Die Nennspannkraft des Sensors beträgt 100 N.

Die Steuerung des Roboters mittels PC erfolgt durch Befehl- die Robotersteuerung setzt in diesem Fall keine selbständigen Entscheidungsaufgaben durch. Durch eine pneumatische Steuerung, die der Robotersteuerung durch I/O-Kanäle untergeordnet ist, wird die Spannkraft (der Luftdruck) geregelt [1].

Literatur:

- [1] ALPEK, F. - NAGY, Z. - SALLAY, P. - SZALAY, T. - SZÉLIG, K. - TÓTH, K. Multi - Sensor Technique for Increasing Intelligence of Assembly Robots. In *Robotics in Alpe - Adria Region*. Wien - New York: Springer Verlag, 1994, pp.138 - 142.
- [2] ALPEK, F. Greifer - und Werkzeugwechselsysteme-Steigerung der Flexibilität von Montagerobotern -e & i. Wien: Vol.111. 6. 1994. pp. 305 – 309, ISSN 0938-1953.
- [3] Alpek, F. & Velisek, K.(2002): Intelligent Fixturing in Production Automation. In *Proceedings of 13th DAAAM Symposium*. Vienna, Katalinic, B. (Ed.), pp. 007-008. ISBN 3-901509-13-7. Vienna: 2002, DAAAM International Vienna.
- [4] ALPEK, F. - VELISEK, K. - PAL, J. - PASTIEROVIC, M. Intelligent Fixtures in Assembly Automation. In *Proceedings of 4th DAAAM-Workshop*. Kosice-Vienna: Katalinic, B. & Wessely, E. (Ed.), pp. 13-15. ISBN 3-901509-37-2.
- [5] LUENEMANN, M. & SCHNEBECK, TH. Intelligent Fixtures for Machine Tools. In *Proceedings of 11. DAAAM-Symposium*. Vienna: Katalinic, B. (Ed.), 2002, pp. 279-280. ISBN 3-901509-13-5.
- [6] SZALAY,T. - ALPEK, F. Realization of the Quality Assurance for Robotized Assembly Cell, In *Proceedings of IEEE Int. Symposium ISIE'99*. Bled, Slovenia: 1999, Vol.2. pp. 925-928.
- [7] ZUPERL, U. & CUS, F. Model for Analysis of Fixtures for Clamping Thin-Wall Work Pieces. In *Acta Mechanica Slovaca*. Kosice: 2002, Vol. 6. pp. 83-88. ISSN 1335-2393.
- [8] Robotized Assembly of Bus Rear Lamps type Ikarus 255 Hungary. Project Report. 1988. TU Budapest, Dept. of Manufacturing Engineering. Co-ordinator: I. Toth, (in Hungarian).
- [9] Robotised Assembly of Ball Taps made by MOFEM Ltd. Hungary. Project Report. 1993. TU Budapest, Dept. of Manufacturing Engineering. Co-ordinator: F. Alpek, (in Hungarian).
- [10] MORDINYI, R. - MOR, M. *Intelligente Vorrichtungen in der Fertigung und Montage. Abschlussbericht zum Praktikum im CEEPUS A-104 Projekt*. TU Budapest – TU Wien: 2003, 43 Seiten. Wiss. Leiter: F. Alpek.