

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Einführung | 1 |
| 1.1 | Einleitung | 1 |
| 1.2 | Problemfelder beim Einsatz von Industrierobotern, Automatisierungshemmnisse | 2 |
| 1.2.1 | Technische Hemmnisse | 2 |
| 1.2.2 | Wirtschaftliche Hemmnisse | 4 |
| 1.2.3 | Resümee | 6 |
| 1.3 | Lösungsansätze: aktiver und passiver Toleranzaus- gleich | 6 |
| 1.4 | Stand der Technik | 7 |
| 1.5 | Ziele der Arbeit und Vorgehensweise | 13 |
| 2 | Grundlagen und Strukturierung komplierter Systeme | 14 |
| 2.1 | Einleitung | 14 |
| 2.2 | Grundlagen komplierter Systeme | 14 |
| 2.2.1 | Definition und Funktionsweise | 14 |
| 2.2.2 | Voraussetzungen für den Einsatz komplierter Systeme | 15 |
| 2.2.3 | Kräfte beim Bauteilkontakt | 18 |
| 2.2.3.1 | Einpunktkontakt | 18 |
| 2.2.3.2 | Zweipunktkontakt | 19 |
| 2.2.3.3 | Zusammenhang zwischen den Kräften am Bauteil und den Kräften im Toleranzausgleichssystem am Bei- spiel des RCC-Systems | 20 |
| 2.2.4 | Fasencharakteristik | 21 |
| 2.2.5 | Toleranzausgleichsgröße | 22 |
| 2.3 | Aufbau komplierter Systeme (Komponenten) | 23 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2.4 | Strukturierung der Einsatzbereiche komplierter Systeme | 25 |
| 2.4.1 | Einfache Bewegungen | 26 |
| 2.4.2 | Komplexe Bewegungen | 27 |
| 2.4.3 | Ermittlung der Füge- und Führungsbewegung | 27 |
| 2.5 | Zielgrößen für den Einsatz komplierter Systeme | 29 |
| 2.5.1 | Passiver Toleranzausgleich bei einfachen Bewegungen | 29 |
| 2.5.2 | Bewegungsvereinfachung bei komplexen Bewegungen | 30 |
| 2.5.2.1 | Vergrößerung des Toleranzbereichs | 31 |
| 2.5.2.2 | Reduzierung von NC-Achsen | 32 |
| 2.5.2.3 | Rückführung komplexer Bewegungen auf elementare Grundbewegungen | 32 |
| 2.6 | Zusammenfassung | 33 |
| 3 | Konzeption komplierter Systeme | 34 |
| 3.1 | Einführung | 34 |
| 3.2 | Vorgehensweise bei der Konzeption komplierter Systeme | 34 |
| 3.3 | Analyse der Wirkflächen zwischen zwei Bauteilen | 35 |
| 3.3.1 | Bauteilspezifische Einflußgrößen | 37 |
| 3.3.2 | Werkzeugspezifische Einflußgrößen | 38 |
| 3.4 | Konzeption der Nachgiebigkeit | 38 |
| 3.4.1 | Nachgiebigkeit der Bauteilwirkflächen | 39 |
| 3.4.2 | Nachgiebigkeit der Werkzeugwirkflächen | 39 |
| 3.4.3 | Nachgiebigkeit in der Werkzeugaufhängung | 39 |
| 3.4.4 | Zielgrößen bei der Konzeption der Nachgiebigkeit | 40 |
| 3.4.4.1 | Ansprechverhalten | 40 |
| 3.4.4.2 | Berechenbarkeit, Vorspannung | 40 |
| 3.4.4.3 | Gewicht, Baugröße | 41 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.4.5 | Konstruktionskataloge | 41 |
| 3.4.5.1 | Kinematik | 41 |
| 3.4.5.2 | Nachgiebigkeitselemente | 44 |
| 3.5 | Vorgehensweise bei der Konstruktion eines komplizierten Systems | 47 |
| 3.5.1 | Einführung | 47 |
| 3.5.2 | Lösungskatalog am Beispiel der Dichtschnurmontage | 47 |
| 3.6 | Zusammenfassung | 49 |
| 4 | Passiver Toleranzausgleich bei Bauteilen mit mehreren Fügstellen | 51 |
| 4.1 | Einführung | 51 |
| 4.2 | Analyse der Fehler bei Bauteilen mit mehreren Fügstellen | 51 |
| 4.2.1 | Analyse möglicher Fehlerlagen | 51 |
| 4.2.2 | Fehlergröße | 53 |
| 4.2.3 | Anforderung an den passiven Toleranzausgleich | 54 |
| 4.3 | Konzeption des Toleranzausgleichs bei Bauteilen mit mehreren Fügstellen | 55 |
| 4.3.1 | Zentrale und dezentrale Toleranzausgleichsstrategie | 55 |
| 4.3.2 | Ermittlung der Ausgleichsbewegungen | 56 |
| 4.3.3 | Toleranzausgleichsmodule für translatorische Ausgleichsbewegungen | 58 |
| 4.3.3.1 | Konzeption des Toleranzausgleichs am Festlager (Scherenmodul 2 D) | 58 |
| 4.3.3.2 | Konzeption des Toleranzausgleichs am Loslager (Scherenmodul 1 D und Translationsmodul) | 61 |
| 4.3.3.3 | Überblick der unterschiedlichen Toleranzausgleichsmodule | 62 |
| 4.3.3.4 | Konzeption des Toleranzausgleichs am Beispiel eines Bauteils mit 3 Fügstellen | 63 |
| 4.3.4 | Berechnung, Kennlinie | 64 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.3.4.1 | Scherenmodul | 64 |
| 4.3.4.2 | Vergleich zwischen RCC-System und Scherensystem | 68 |
| 4.3.5 | Toleranzausgleich der rotatorischen Fehler | 71 |
| 4.4 | Einsatz von Rechnerhilfsmitteln | 72 |
| 4.4.1 | Parametrisierte Variantenkonstruktion mit Hilfe von CAD | 72 |
| 4.4.1.1 | Einführung | 72 |
| 4.4.1.2 | Rechnerunterstützte Konstruktion und Berechnung des Toleranzausgleichssystems | 73 |
| 4.4.2 | Einsatz der FE-Methode als Konstruktionshilfsmittel | 74 |
| 4.4.2.1 | Einführung | 74 |
| 4.4.2.2 | Vorgehensweise | 75 |
| 4.4.2.3 | Ergebnis | 76 |
| 4.5 | Applikationsbeispiel: Fügen von Dornleisten | 77 |
| 4.5.1 | Problemstellung | 77 |
| 4.5.2 | Konzeption des toleranzausgleichenden Greifwerkzeuges | 78 |
| 4.6 | Zusammenfassung | 79 |
| 5 | Einsatz komplienter Systeme bei komplexen Bewegungen | 80 |
| 5.1 | Einleitung | 80 |
| 5.2 | Problemstellung | 80 |
| 5.3 | Vergrößerung des Toleranzbereiches | 82 |
| 5.3.1 | Einführung | 82 |
| 5.3.2 | Einsatzbeispiel: Automatische Dichtschnurmontage | 82 |
| 5.3.2.1 | Problemstellung und Analyse der geometrischen Wirkflächen | 82 |
| 5.3.2.2 | Anforderungen an die kompliente Aufhängung der Einlegedüse | 84 |
| 5.3.2.3 | Konstruktion der kompliente Aufhängung der Einlegedüse | 84 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 5.3.2.4 | Zusammenfassung | 86 |
| 5.4 | Reduzierung von NC-Achsen | 87 |
| 5.4.1 | Einführung | 87 |
| 5.4.2 | Einsatzbeispiel: Entgraten von Zinn-Wismut-Kernen | 87 |
| 5.4.2.1 | Problemstellung und Analyse der geometrischen Randbedingungen | 87 |
| 5.4.2.2 | Konzeption des komplimenten Entgratwerkzeuges | 88 |
| 5.4.3 | Einsatzbeispiel: Abdornen von Formschläuchen I | 90 |
| 5.4.3.1 | Problemstellung und Analyse der geometrischen Randbedingungen | 90 |
| 5.4.3.2 | Konzeption des komplimenten Roboterabdornwerkzeuges | 91 |
| 5.5 | Rückführung komplexer Bewegungen auf elementare Bewegungen | 93 |
| 5.5.1 | Einführung | 93 |
| 5.5.2 | Einsatzbeispiel: Abdornen von Formschläuchen II | 93 |
| 5.5.3 | Einsatzbeispiel: Automatische Montage von Schnellbefestigungselementen mit komplexer Fügebewegung | 95 |
| 5.5.3.1 | Problemstellung und Analyse der Bauteilgeometrie sowie der Fügebewegung | 95 |
| 5.5.3.2 | Konzeption eines komplimenten Fügeworkzeuges | 97 |
| 5.5.3.3 | Ergebnis des komplimenten Fügeworkzeuges | 99 |
| 5.6 | Zusammenfassung | 100 |
| 6 | Wirtschaftlichkeitsanalyse komplimentier Systeme | 101 |
| 6.1 | Einleitung | 101 |
| 6.2 | Analyse des Roboterhaltens | 101 |
| 6.2.1 | Versuchsreihe | 102 |
| 6.2.2 | Programmieraufwand | 104 |
| 6.2.3 | Bahngeschwindigkeit | 105 |
| 6.2.4 | Bahngenauigkeit | 106 |
| 6.2.5 | Resümee | 108 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 6.3 | Ermittlung der Kostensenkungspotentiale | 108 |
| 6.3.1 | Reduzierung des Programmieraufwandes | 108 |
| 6.3.2 | Reduzierung der Investitionskosten von Handhabungskomponenten | 109 |
| 6.3.3 | Reduzierung der Taktzeit | 110 |
| 6.4 | Erweiterte Kostenvergleichsrechnung | 111 |
| 6.4.1 | Übersicht über Investitionsrechnungsverfahren | 111 |
| 6.4.2 | Statische Kostenvergleichsrechnung | 112 |
| 6.4.3 | Berücksichtigung der Flexibilität bei flexiblen Montageanlagen | 113 |
| 6.4.4 | Kostenvergleichsrechnung unter Einbeziehung der Effekte komplierter Systeme | 114 |
| 6.4.4.1 | Kostenrechnung mit EXCEL-Tabellenkalkulation | 116 |
| 6.4.4.2 | Einsatzbeispiel: Abdornen von Formschläuchen | 117 |
| 6.4.4.3 | Einsatzbeispiel: Klipmontage | 119 |
| 6.4.4.4 | Zielkonflikt beim Einsatz komplierter Systeme | 120 |
| 6.5 | Nutzwertanalyse | 120 |
| 6.5.1 | Vorgehensweise | 120 |
| 6.5.2 | Zielkriterien und deren Gewichtung | 121 |
| 6.5.3 | Bestimmung der Nutzwerte | 122 |
| 6.6 | Zusammenfassung | 124 |
| 7 | Zusammenfassung | 125 |
| 8 | Literaturverzeichnis | 127 |