

Modell für einen Fügeprozeß mit minimalen Reaktionskräften

Jelena Bohmann

In der vorliegenden Arbeit wird ein Modell für das Fügen von axialsymmetrischen Teilen untersucht. Weiter wird die Abhängigkeit der Reaktionskräfte von der Lage der Teile zueinander untersucht und ein Fügeprozeß gefunden, für den die Reaktionskräfte minimal sind.

The paper analysis a model for a montage based on the axial symmetrical parts. Moreover, the dependence of the reaction force on the position of these parts will be investigated, and an optimal process for which the reaction force are minimum will be found.

0. Einleitung

Beim Montieren von Teilen mit einem Roboter entsteht das Problem der Feinpositionierung der Teile zueinander. Besonders beim Fügen von Teilen können Ungenauigkeiten in der Position zueinander zum Verkanten führen. Bei großen, weitgehend starren stabilen Teilen lassen sich diese Ungenauigkeiten durch eine geeignete Kantenform der Teile und eine entsprechend hohe Fügekraft beheben. Bei sehr kleinen Teilen, bei denen das Verhältnis von Positionsfehler zur Größe der Teile sehr groß ist, sowie bei leicht deformierbaren Teilen ist diese Methode jedoch nicht anwendbar. Deshalb ist es von Interesse, ein Modell des Fügeprozesses zweier Teile zu untersuchen, um geeignete Fügebewegungen zu finden, die Positionsfehler ausgleichen. Solche Modelle werden in der Literatur an mehreren Stellen beschrieben ([1] bis [3]).

Vom Autor wird ein Modell für das Aufstecken eines Rings auf einen Zylinder aufgestellt. Weiter wird der Zusammenhang zwischen der Gleitbewegung des Rings auf dem Zylinder und den auftretenden Reaktionskräften untersucht. Es werden solche Fügebewegungen gesucht, für die die Reaktionskräfte und damit der Materialabrieb der Teile minimal sind. Dies hat für Fügeprozesse im Reinraum große Bedeutung.

1. Beschreibung des Modells

Ein Ring wird mit einem Roboter auf einen Zylinder aufgesetzt. Die vorhandene Abweichung von der Programmbe-
 wegung soll wie folgt korrigiert werden. Nach dem ersten Kontakt der beiden Teile gleitet der Ring auf der Oberfläche des Zylinders. Die Gleitbewegung besteht aus vier Phasen (Bild 1):

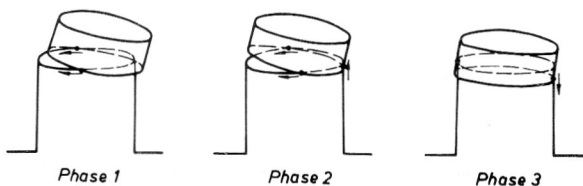


Bild 1
 Phasen des Fügeprozesses

1. Phase: Es gibt zwei Kontaktpunkte. Die Phase ist beendet, wenn ein dritter Kontaktpunkt auftritt.
2. Phase: Es gibt drei Kontaktpunkte. Die zwei ersten Kontaktpunkte bewegen sich aufeinander zu. Die Phase ist beendet, wenn sich diese beiden Punkte treffen.
3. Phase: Es gibt zwei Kontaktpunkte. Die Phase ist beendet, wenn einer der beiden Kontaktpunkte die Oberkante des Rings erreicht.
4. Phase: Absenken des Rings.

Da die Teile zylindrisch sind, wird das Problem in der Ebene betrachtet (Bild 2). Die Lage des Rings wird durch die Koordinaten seines Schwerpunktes x_c , y_c und den Winkel φ zwischen den Symmetrieachsen des Rings und des Zylinders bestimmt. Da der Ring auf dem Zylinder gleitet, kann seine Bewegung durch weniger als drei verallgemeinerte Koordinaten beschrieben werden. In der 1. Phase sind das s und φ . In der 2., 3. und 4. Phase ist das φ . Dabei ist s der Abstand zwischen der Symmetrieachse des Basisteils und der Schnittlinie der beiden Ebenen, in denen die Oberkante des Zylinders und die Unterkante des Ringes liegen.

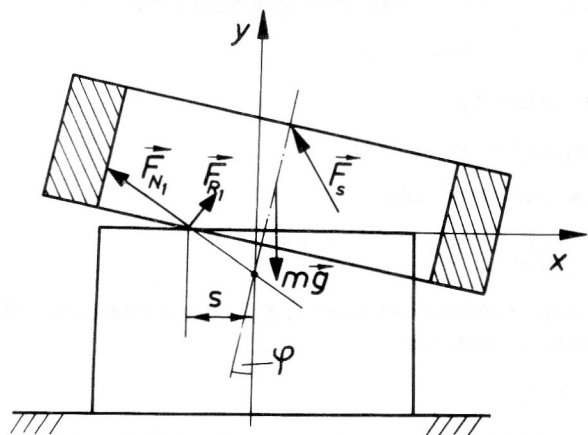


Bild 2
 Mechanisches Modell des Fügeprozesses mit den Modellparametern

Folgende Kräfte wirken auf den Ring:

- Die Schwerkraft mg ,
- die Fügekraft F_s ,
- die Normalkräfte F_{N1}, F_{N2} ,
- die Reibungskräfte F_{R1}, F_{R2} .

Es wird ein direktes dynamisches Problem betrachtet. Für eine gegebene Bewegung des Rings sind die Kräfte gesucht, welche diese Bewegung realisieren. Das Problem wird sowohl als statisches als auch als dynamisches Problem untersucht. Ausgangspunkt für beide Modelle sind die newtonschen Bewegungsdifferentialgleichungen des Rings:

$$m \cdot \ddot{x}_c = F_x, \quad m \cdot \ddot{y}_c = F_y, \quad J_c \cdot \ddot{\varphi} = M_c.$$

Die Zwangsbedingungen besitzen die Form:

$$x_c = h/2 \sin \varphi + \sqrt{(d_2^2 - d_1^2)/4 + s^2} \cdot \cos \varphi - s,$$

$$y_c = h/2 \cos \varphi + \sqrt{(d_2^2 - d_1^2)/4 + s^2} \cdot \sin \varphi.$$

Dabei sind

- F_x – die Summe der x-Komponenten,
- F_y – die Summe der y-Komponenten aller Kräfte,
- M_c – die Summe aller Momente bezüglich des Schwerpunktes,
- J_c – das Trägheitsmoment,
- h – die Höhe,
- d_2 – der Innendurchmesser des Rings,
- d_1 – der Durchmesser des Zylinders.

Beim Statikmodell werden die Trägheitskräfte und das Trägheitsmoment vernachlässigt. Für diese Modellgleichungen mit den Zwangsbedingungen wurde das Programm THIFUEG1 in Turbo-Pascal erstellt, welches für eine gegebene Fügebewegung $s(t)$, $\varphi(t)$ die Lage der Teile zueinander, die entsprechende angreifende Fügekraft und das Fügoment sowie die Reibungskräfte bestimmt und grafisch darstellt. Es soll eine solche Fügebewegung $s(t)$, $\varphi(t)$ gefunden werden, für die die Reaktionskraft $R = (F_{N1} + F_{R1}) + (F_{N2} + F_{R2})$ minimal ist. Dazu wird mit dem Programm THIFUEG2 die Funktion $R(s, \varphi)$ untersucht und ein „optimaler“ Weg aus der Anfangslage

$$(s_0, \varphi_0) = (s(0), \varphi(0))$$

in die Endlage

$$(s_1, \varphi_1) = (s(T), \varphi(T))$$

gesucht, für den gilt:

$$\max_{t \in [0, T]} R(s(t), \varphi(t)) \rightarrow \min.$$

Dabei muß beachtet werden, daß beim Kontakt der Teile stets die Bedingung

$$s < f(\varphi)$$

erfüllt sein muß. Die Funktion f wird durch die Geometrie der Teile bestimmt. Es sind also nicht alle Lagen (s, φ) zulässig. Die Lösung des Minimierungsproblems ist nicht eindeutig, da es mehrere Bewegungen mit dem gleichen Maximalwert der Funktion $R(s(t), \varphi(t))$ gibt. D. h., es gibt mehrere optimale Wege.

2. Darstellung der Ergebnisse

Die Untersuchungen des Modells haben gezeigt, daß der Unterschied zwischen dem Statikmodell und dem Dynamikmodell sehr klein ist. Insbesondere bei kleinen Teilen mit geringer Masse und kleinem Trägheitsmoment können deshalb die Trägheitseffekte vernachlässigt werden.

In Bild 3 ist die Abhängigkeit der Normalkraft $N = F_{N1} + F_{N2}$ und damit auch der Reaktionskraft R von s und φ dargestellt.

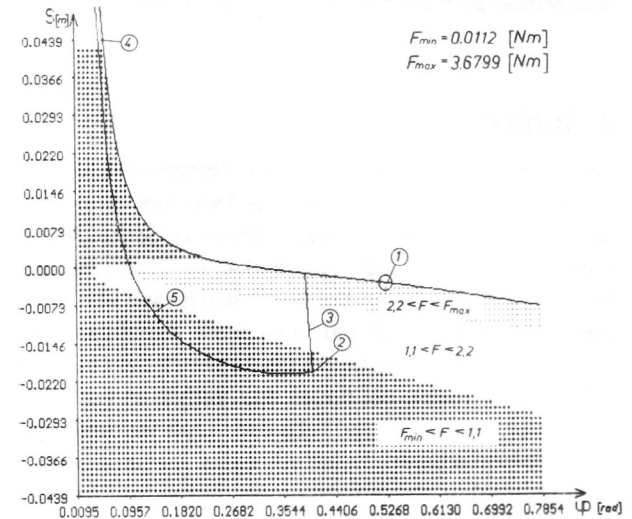


Bild 3
Funktionale Abhängigkeit der Normalkraft von s und φ

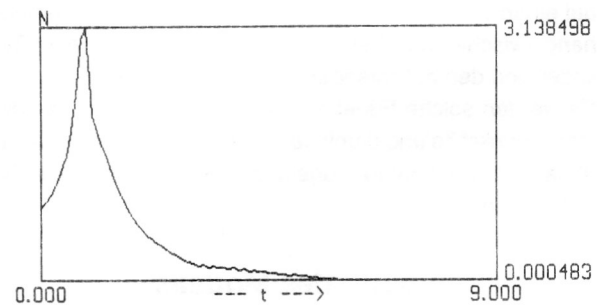


Bild 4
Normalkraft für einen Fügeprozeß

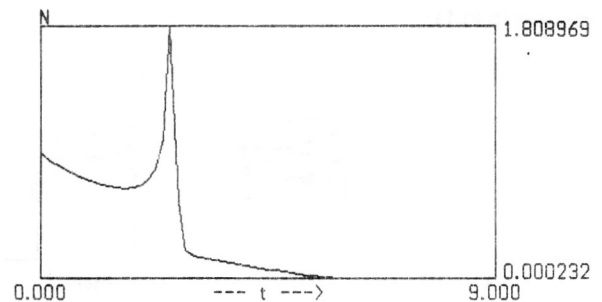


Bild 5
Normalkraft für einen „optimalen“ Fügeprozeß

Der Punkt 1 ist der Punkt, in dem N sein Maximum besitzt. Dieser Punkt liegt auf der Kurve $s = f(\varphi)$. Die Punkte oberhalb dieser Kurve sind nicht zulässig. Wird die Differenz zwischen dem Innendurchmesser des Rings und dem Durchmesser des Zylinders größer (größeres Spiel), so wird die Kurve flacher, und die φ -Koordinate des Maximums wird größer. Der Wert des Maximums wird dabei kleiner. Die s -Koordinate des Maximums befindet sich immer im Bereich von $s = 0$. Der Punkt 2 kennzeichnet die Ausgangslage des Rings (Der Kontakt von Ring und Zylinder wird immer vorausgesetzt!). Die Kurve 3 kennzeichnet die 1. Phase des Fügevorgangs nach dem obigen Modell. In der 2. und 3. Phase gilt $s = f(\varphi)$. Im Punkt 4 ist s gleich der Hälfte des Innendurchmessers des Rings. Hier endet die 2. und beginnt die 3. Phase. Die Kurve 5 zeigt eine Approximation eines Fügeprozesses mit minimaler Normalkraft für den Fügeprozeß 2-3-4 und Bild 5 für den „optimalen“ Fügeprozeß 5.

3. Zusammenfassung

Die Untersuchungen haben gezeigt, daß eine gute Übereinstimmung des Modells mit der Realität vorhanden ist. Durch die Anwendung des vorgestellten Programmpakets THIFUEG werden die Gebiete mit hoher Fügekraft und somit großen Materialabriebs gefunden. Auf dieser Grundlage kann eine Sensorführung des Roboters mit dem Ziel der Umgehung dieser Gebiete realisiert werden. Die dargestellten Ergebnisse werden an einem Industrieroboter getestet. Die vorgestellte Methode eignet sich auch zur Untersuchung ähnlicher Fügeprozesse (z. B. Bolzen in Bohrung).

Mein Dank gilt Herrn Dr.-Ing. habil. Klaus Zimmermann für seine Hinweise sowie die Unterstützung bei der Abfassung der Arbeit.

LITERATUR

- [1] Chemyakhovskaya, L. B., Budnikov, Yu. M.: Matematicheskaya model' protessa sovmeshcheniya tsilindricheskikh detalj. Avtomatizatsiya sborochnykh protsessov, Riga, 1981.
- [2] Tamio Arai: Analysis of Part Insertion with Complicated Shapes. Annals of the CIRP 38(1989) 1, pp. 17 – 20.
- [3] Hammerschmidt, Ch. u. a.: Fügemechanismen für die Montageautomatisierung mit Robotern. Wissenschaftliche Schriftenreihe TU Chemnitz, Chemnitz, 1988.
- [4] Bohmann, J.: Fügen mit minimalen Reaktionskräften. Forschungsbericht (unveröffentlicht), Ilmenau, 1990.

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Ing. Jelena Bohmann
Technische Hochschule Ilmenau
Fakultät Maschinenbau und Feinwerktechnik
Fachgebiet Technische Mechanik
O-6300 Ilmenau