401 振動付加円筒深絞り加工特性

Forming characteristics of circular-cup deep drawing with BHF vibration

○学 金谷 康平(都立大院) 正 真鍋 健一(都立大)
正 小山 寛 (都立大院)

Kouhei KANAYA, Tokyo Metropolitan University, Minamiosawa, Hachioji-shi, Tokyo
Ken-ichi MANABE, Tokyo Metropolitan University, Minamiosawa, Hachioji-shi, Tokyo
Hiroshi KOYAMA, Tokyo Metropolitan University, Minamiosawa, Hachioji-shi, Tokyo

Lubricant is harmful in metal forming process from the ecology point of view. In this study, a new combination blank holder vibration and fuzzy adaptive control was proposed and implemented in order to reduce friction effect with no lubricant in deep-drawing operation. The fuzzy adaptive control scheme used in this study is that minimum blank holder force(BHF) is momentarily applied to control wrinkles occurred during deep-drawing process. The deep-drawing experiment was carried out using mild steel and the forming load and energy were compared with four conditions such as constant BHF, BHF vibration, BHF fuzzy adaptive control, BHF vibration and fuzzy adaptive control. As a result, a new combination control scheme is seen to be considerably effective to reduce the forming load and is expected as a dry forming technique.

Keywords: Deep-drawing, Blank holder vibration, Fuzzy adaptive control, No lubricant, Forming load, Forming energy,

1.緒言

地球環境保護の観点から深絞り加工に関して、無潤滑あるいは無洗淨油化を目指した高柔軟・高品位の加工法の開発が望まれている。無潤滑化を志向した場合、blankと工具間の摩擦増大は避けられず、多くの悪影響が想定される。その摩擦低減法として各種振動付加法が注目されている。本研究では摩擦と密接な関係がある既報で開発した、しわ抑制ファジィ適応制御深絞り法¹⁾と振動付加を組み合わせ、一層良好な潤滑状態で制御し、環境にやさしく、かつフレキシブルで高品位な深絞り加工の実現を目指している。

前報²⁾では簡便な油圧制御による、低周波振動を付加できる多機能なファジィ適応制御深絞り装置を開発した。それを用いて絞り用鋼板(SPCD)で実験を行い、振動付加の効果を検証した。実験結果から、blankホルダーに振動を付加することで、パンチ荷重特性から加工エネルギーの低減が確認され、摩擦力の低減効果を実証した。

本報では、更にしわ抑制ファジィ制御方式と振動付加を組み合わせ、一層良好なしわ抑え状態を確立し、更なる摩擦力低減を実証し、両者を組み合わせる効果について検討した。

2.振動付加ファジィ適応制御深絞り装置の開発

前報で使ってきたファジィ適応制御深絞り加工装置はサーボモーターを使用し、blankホルダーに振動を付加するように設計したが、サーボ系に慣性的な負荷が大きく、応答性や適応範囲に限界があった。そこで、油圧制御をサーボモーターからサーボバルブに変更し、振動付加に適したサーボ系に改良した。これにより、しわ抑え力の制御が容易になり、試験機の適用範囲が向上し、振動数、振幅が広範囲になった。各工具の寸法を Fig. 1 に、またその試験機の性能を Table 1 に示す。

3.しわ抑制ファジィ適応制御

本報で用いているしわ抑制ファジィ適応制御は、blankのフランジ部に生じるしわの発生を抑制するために、加工中のblankの厚さの変化からしわの挙動を把握し、必要最低限のしわ抑え力を加工の進行状況に応じてファジィ適応制御する方式である。

4.実験

供試材は板厚1.0mmの絞り用鋼板SPCDを用いた。その材料特性を Table 2 に示す。深絞り実験は絞り比 $DR=2.06$ のblankを用い、工具とblankをアセトンで脱脂した無潤滑条件で、パンチ速度5.0mm/min一定で行った。なお、一定最小しわ抑え力として設定される2.0kNはしわのような成形不良が生じない最低限の値であり、blankホルダーに付加する振動数は5.0Hz、振幅は1.0kNとした。実験条件は最小一定しわ抑え力、振動付加最小一定しわ抑え力、しわ抑制ファジィ制御、振動付加しわ抑制ファジィ制御の4条件で行った。

Fig. 1 Outline of deep drawing with blank holder vibration control

Table 1 Performance and functions of new deep drawing apparatus

		Previous system	New system
Fuzzy adaptive control	BHF (kN)	0.05~50	
	Punch speed (mm/min)	0~1000	
Controlable vibration	Amplitude (kN)	0~2.0	0~3.0
	Frequency (Hz)	0~1.0	0~5.0
Maximum load (kN)		100	

Table 2 Mechanical properties of material used (SPCD)

Yield stress σ_s (N/mm ²)	153
Tensile strength σ_B (N/mm ²)	315
Breaking elongation (%)	47
F value (N/mm ²)	410
n value	0.24
r value	1.97

$$(\sigma = F \varepsilon^n)$$

Fig. 2 Comparison between vibration BHF and const. BHF (No lubricant, f =frequency, A =Amplitude)

5. 実験結果及び考察

5.1 しわ抑制ファジィ適応制御

Fig. 3 は実験において最小一定しわ抑え力の場合と、しわ抑制ファジィ適応制御を適用した場合のパンチ荷重-パンチストローク線図及びしわ抑え力の挙動を示したものである。二つのパンチ荷重の挙動を比較すると、しわ抑制ファジィ制御を適用した場合、加工エネルギーの低減が実現されている。しわ抑制ファジィ適応制御のしわ抑え力は加工初期は最小一定しわ抑え力より低いが、後半は高くなっている。しかし常にパンチ荷重は低く抑えられており、余計なしわ抑え力の負荷が適用されないことで、摩擦力が減少し、加工エネルギーを低減させる効果があると考えられる。これは振動付加の場合 (Fig. 2) と同程度の効果が現れている。

5.2 しわ抑制ファジィ制御と振動付加の複合

Fig. 4 は Fig. 3 で示したファジィ適応制御と振動数 5.0Hz、振幅 1.0kN の振動を複合した場合と、ファジィ適応制御のみを適用した場合のパンチ荷重-ストローク線図としわ抑え力の挙動を示している。パンチ荷重の挙動を比較すると、振動を複合することで、加工エネルギーの低減効果が現れ、摩擦力の低減が実現されている。

5.3 加工エネルギーの比較

Fig. 5 は最小一定しわ抑え力、振動適用、ファジィ制御、ファジィ制御と振動の複合の4条件における加工エネルギーの比較を示している。前報の通り、振動を付加することは加工エネルギー低減の効果がある。最小一定しわ抑え力を適用した場合、ファジィ制御と振動を複合させた場合とを比較すると、10%以上も加工エネルギーが低減されている。この結果は潤滑状態を一層改善していることを示すものであり、無潤滑加工や、無洗浄油化への効果が期待できる。

5.4 振動付加が加工に及ぼす影響

Fig. 6 は上記4条件におけるブランクホルダーとダイの間隔の変化を示したものである。加工中期までファジィ適応制御と振動の複合方式は他の三方式より、ブランクホルダーとの間隔が最も大きく、この大小関係は Fig. 5 の関係と相関が見られる。これは振動により摩擦抵抗が減少すると同時に、肉厚の増加も認められ、ブランクがダイ肩へ流入し易くなり、ダイ肩部での流入抵抗を最も減少させているためだと考えられる。またブランクの肉厚減少が抑止されるため、しわも発生させることなく加工できるものと予測される。

6. 結言

しわ抑え力を制御するために、油圧制御にサーボバルブを用いたことで、試験機の性能が向上し、適用範囲が拡大した。摩擦抑制のために振動の付加が有効であることが実証されていたが、しわ抑制ファジィ適応制御と組み合わせることで、更に効果が向上することが実証された。これにより無潤滑あるいは無洗浄油を用いた加工の実現が期待できる。なお本研究を推進するに当たり文部科学省科学研究費基盤Cの補助があった。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 小山ほか: 第50回塑性加工連合講演会講演論文集(1999), 29
- 2) 金谷ほか: 平成13年度塑性加工春季講演会講演論文集(2001), 126

Fig. 3 Comparison between Fuzzy adaptive control BHF and const. BHF (No lubricant, f =frequency, A =Amplitude)

Fig. 4 Comparison between Fuzzy adaptive control BHF and Fuzzy adaptive control & Vibration BHF (No lubricant, f =frequency, A =Amplitude)

Fig. 5 Comparison of forming energy under various conditions (f =frequency, A =Amplitude)

Fig. 6 Variations in gap between blank holder and die under various blank holding conditions