

複合ギアの冷間鍛造成形における最適スラグ形状に関する研究*

外山 真也*¹・佐藤 征臣*¹・平田 幸次*²・河野 通成*²

木之下 広幸*³・池田 清彦*³・海津 浩一*⁴

Study of Optimizing Slug Shape for the Complex Gear in Cold Forging Process

Masaya TOYAMA ,Masatsugu SATO,Kouji HIRATA,Michinari KAWANO,
Hiroyuki KINOSHITA,Kiyohiko IKEDA and Kouichi KAIZU

従来、ギア部とカム部からなる複合ギアは、冷間鍛造により一定の形状に成形された後に、切削加工により製品寸法に成形されていた。しかしながら、近年の製造時間の短縮化、材料コスト削減の要望とともに、冷間鍛造のみによるネットシェイプ成形が強く要求されている。そこで本研究では、複合ギア成形のモデル実験、ならびに三次元有限要素解析を行い、冷間鍛造成形により製品形状にネットシェイプ成形できる最適スラグ形状について検討し、スラグ形状によって材料の塑性流れをコントロールできることを明らかにした。

キーワード：鍛造、塑性加工、CAE解析、最適化、省力化

1 はじめに

図1は、複合ギアの寸法・形状を示している。本研究で対象とする複合ギアは、ギア部とカム部から構成されている部品であり、材質には一般に高強度の炭素鋼鋼材が用いられている。この複合ギアを従来の形状のスラグを用いて、前方後方押し鍛造により成形した場合には、ギア部の先端部がテーパ状となり、カム部ではオーバーフローとなる部分があった。そのため、それらの部分を切削加工により除去して製品寸法に仕上げられていた。

そこで本研究では1工程の押し鍛造で、製品形状に近い形状に成形することにより、その後の切削加工を軽減し、製造時間の短縮、材料コスト削減を目指した。具体的には、素材の初期形状（スラグ形状）に着目し、数種類のスラグ形状について、アルミニウム合金A1070材を用いた複合ギア

成形のモデル実験、ならびに塑性流動解析ソフト Deformによる三次元有限要素解析を行い、製品形状にネットシェイプ成形できるスラグ形状について検討した。

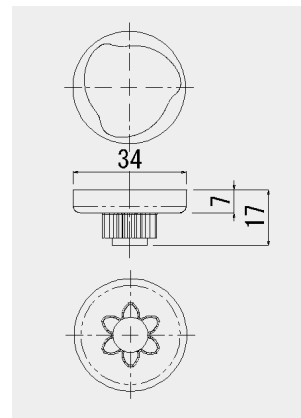


図1 複合ギアの寸法・形状

2 実験方法および有限要素解析方法

図2は、有限要素解析モデルを示している。また、有限要素解析の条件を表1に示す。有限要素解析は、三次元剛塑性有限要素法により行い、計算時間短縮のため、解析モデルには1/6モデルを用いている。また、有限要素解析では、スラグの

*特定ものづくり基盤技術高度化事業
「材料の流動解析によるスラグ形状及び金型形状の研究開発」

* 1 機械電子部

* 2 株式会社ニチウ

* 3 宮崎大学工学部

* 4 兵庫県立大学大学院

素材を実材料に相当するAISI-4140とした。

図3は、モデル実験および有限要素解析に用いた9種類のスラグ形状を示している。本研究では、複合ギアの成形性に及ぼすスラグ形状の影響について検討するために、一定断面積を持つT101～T103試験片、試験片の底部に突起を設けたT104～T106試験片、および断面形状を変化させたスラグT107～T109の試験片を用いて、モデル実験ならびに有限要素解析を行った。

アルミニウム合金A1070材を用いたモデル実験は、万能試験機を使って行い、パンチストロークが3mm、6mm、9mm、および最終ストロークにおけるスラグの変形した形状を詳細に観察した。

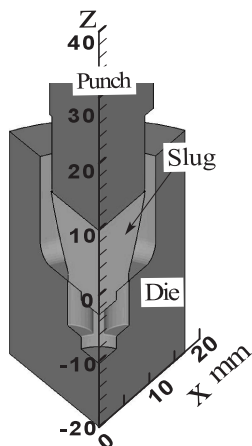


図2 FEM解析モデル

表1 計算条件

Material: AISI-4140	$\sigma=799.83\epsilon^{0.244}$
Flow stress (MPa)	
Total number of elements	30000
Punch speed	0.67mm/s
Punch stroke	19.6mm (In case of T101)
Increment of one step	0.05mm
Frictional coefficient of shear friction law	0.1

3 実験結果および有限要素解析結果

3-1 モデル実験の結果

図4は、パンチストロークが6mmおよび9mmにおけるスラグの変形した形状を例示している。なお、

紙面の都合から、図にはT107およびT109試験片についてのみ示している。まず、T101～T103試験片を用いた結果から、スラグの断面積が小さい場合には、ギア先端部の成形性は良いが、カム部の成形性は悪いことがわかった。一方、スラグの断面積が大きい場合には、ギアの先端部がドーム状(テーパー状)となりギア部の成形性は悪い。



図3 試験片（スラグ）の形状

Punch stroke: 6mm Punch stroke: 9mm

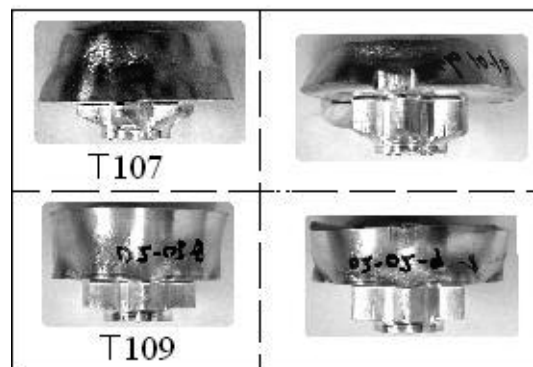


図4 変形過程中的スラグ形状の例

すなわち、これらの一定断面積を持つスラグ形状では、ギア部とカム部の両方を製品形状に近く成形することは難しいことがわかった。次に、T104～T106試験片を用いた結果から、試験片の底部に突起を設けると、突起を設けない場合にドーム状に成形されていたギア部先端が平らな形状になり、より製品形状に近くなることがわかった。そこで、以上の結果を考慮したT107～T109のような

断面形状を変化させたスラグ試験片のモデル実験を行った。その結果、下側断面が小さく、上側断面が大きいT109試験片を用いた場合に、ギア部とカム部の両方の成形性が良いことが明らかになった。

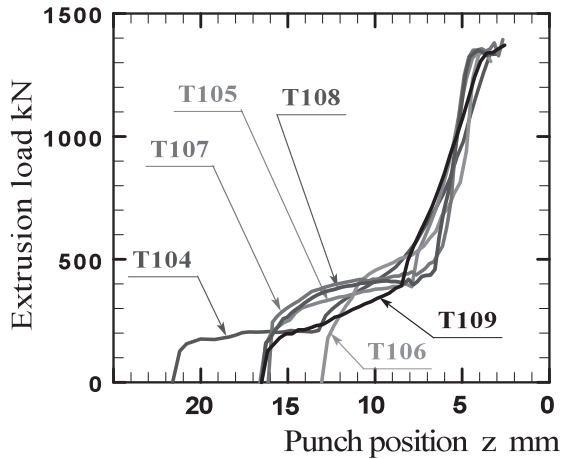


図5 押出し荷重の比較

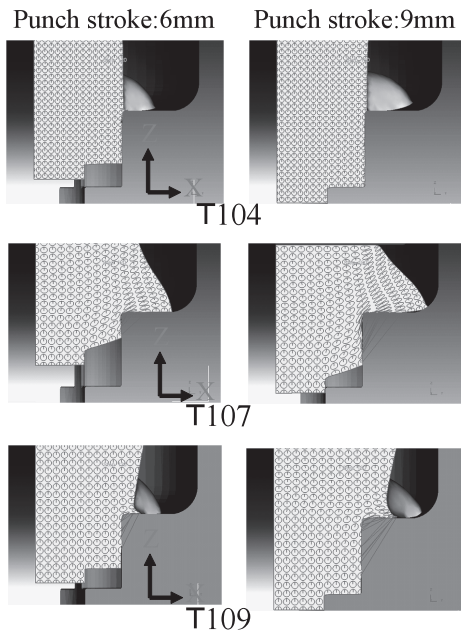


図6 塑性流れの様相

3-2 有限要素解析結果

図5は、素材にAISI-4140を用いた場合の有限要素解析によって得られた押出し荷重の比較を表している。この図から、小さな断面を持つスラグは、相対的に押出し荷重が小さいことがわかる。

従って、金型の損傷を考慮した場合には、小さな断面を持つスラグ形状が適していると考えられる。

図6は、T104、T107、およびT109試験片を用いた場合の塑性流れの様相を示している。これらの図より、図の下部のギア部へ材料が充填されていることから、T104およびT109試験片は、T107試験片よりもギア部の成形性が良いこと、また図の上部のカム部において材料がダイスに沿って流れていることから、T109試験片は、T104試験片よりもカム部の成形性が良いこともわかる。以上の結果から、本研究においては、T109試験片がギア部とカム部の両方の成形性が良い形状であることがわかった。

4 まとめ

本研究では、スラグ形状に着目し、アルミニウム合金A1070材を用いた複合ギア成形のモデル実験、ならびに三次元有限要素解析を行い、ネットシェイプ成形可能な最適スラグ形状について検討した。得られた結果は以下のとおりである。

- (1) スラグの断面積が小さい場合は、ギア部の成形性は良好であるが、カム部の成形性は悪い。一方、スラグの断面積が大きい場合はギア部の成形性は悪いが、カム部の成形性は良好である。
- (2) 予めスラグの底部に突起部を設けると、ギア部の成形性が向上する。
- (3) 下側断面が小さく、上側断面が大きい断面形状を変化させたスラグを用いると、ギア部とカム部の両方の成形性が良好であることがわかった。

本研究は、「特定ものづくり基盤技術の高度化」事業において実施されたものである。記して謝意を表す。

5 参考文献

- 1) Jiro Saga and Hiroto Nojima: On the Crack Initiation in A Workpiece during Forward Backward Extrusion, Journal of the JSTP, Vol.12, No.127(1971), 611-621.