

6/25～27 まで名古屋大学工学部で開催された講演会に、大賀先生の共同研究者として発表日の 26 日のみですが同行してきました。発表内容は、下記の前刷りの通りです。興味のある方は一度読んでみてください。

歯形部品の歯形パンチレス精密冷間鍛造
(第 3 報 はすば歯車の加工面圧と製品形状)

壘正 *大賀 喬一 (沼津高専) 壘正 村越 文夫 (沼津高専) 山崎 卓矢 (ジャトコ)
壘正 上野 完治 (ジャトコ) 外園 保治 (ジャトコ) 壘正 加藤 直樹 (ジャトコ)

1. 緒言

歯形ダイに歯形パンチを直接滑合せない型構成 (歯部間接加工方式) でも形状の良好な平歯車やはすば歯車が首尾良く成形できることを報告している¹⁾²⁾。ここでは、はすば歯車の加工において、加工モーションの一層の短縮の可能性、潤滑手法の影響、製品精度について調査した結果を報告する。

2. 対象とするはすば歯車製品と実験条件

表 1 に歯車製品の寸法諸元と実験条件を示す。歯数は 22 枚、モジュールは 2.0 mm としている。素材は工業用純アルミニウム (A1050) と耐食アルミニウム合金 (A6061) を採用し、外周のみに C2 面取りを施し、中実と中空の両方を検討する。鋼材への適用を前提に³⁾、型内への材料充てんに要する平均面圧は各素材の n 乗式に示す F 値の 3 倍以下を目安とする。

3. 型工具構成と加工モーション

図 1 に型工具構成と加工モーションを示す。①は素材、②は歯形ダイで、歯幅は 11 mm としている。③は円柱パンチ、④はクッション材を内蔵する円筒パンチで、②とは直接噛み合わない。中空素材の場合は③の円柱パンチをマンドレル内蔵形に置き換える。加工モーションは、第 1 段階として④内のクッション材を軟鋼材とし、③と④を同時圧下させる (P1)。④には軟鋼材の塑性流動抵抗に応じたクッション力 Pc が作用し、③とは差動する。第 2 段階では、③を変形した材料内にそのまま置いて無負荷とし、④内のクッション材を除いて剛体とし、④のみを圧下する (P2)。第 3 段階は③に流動拘束量 k を与え、③と④を同時圧下する (P3)。第 4 段階は③を抜き取り、④のみを圧下する (P4)。加工面圧 p は各段階終了時の加工力 P をパンチの投影面積で除して算出する。すなわち、第 1 段階では歯先円直径 (中実)、または、歯先円とマンドレルの直径差 (中空)、第 2 段階から第 4 段階までは中実・中空ともに歯先円と③の直径差である。各段階終了時の加工力は上述の各面圧が同程度になるように設定する。

図 2 に図 1 の④内に採用するクッション材 A, B, C の変形特性を示す。結果の整理において、例えば、A2 材は第 1 段階で A 材を 2 個、B3 材は B 材を 3 個用いることを意味する。

4. はすば型内への材料充てん状況

図 1 に示す第 1 段階時のクッション力 Pc を高めれば、第 3 段階までで対象とする製品の歯先円直径まで材料が到達する形状の良好な製品が得られることを報告している¹⁾。図 3 は加工モーションの一層の短縮が実現できるかを調査した結果である。図 3 の面圧 p* は各段階の面圧の平均で、() 内の数字は実施した段階数を示している。材料が所望の歯先円直径まで到達した形状の良好な製品 (●印) を得るには A3 材では第 4 段階までが必要である。Pc* を高める B3 材では第 3 段階までで十分となる。一層 Pc* を高める B4 材に変更すると同等の面圧下で●印の製品①が第 2 段階までで得られる (図 3 (b) の下側写真参照)。しかし、Pc* をさらに高める B5 材を用いると第 2 段階終了時に歯先部に欠肉が発生し、製品形状は逆に悪化する。ここで、B4 材の使用で首尾よく成形される製品の第 1 段階終了時の材料充てん状況を観察すると歯先先端歯筋方向の輪郭形状は良好な凸となっており (図 3 (b) の上側写真参照)、Pc* の設定の仕方が重要と言える。なお、n 乗式の F 値で除した面圧比は 2.5 を下回っており、提案する加工方式の有用性が知られる。

一連の検討は、実験を簡便にするため、潤滑剤として市販の牛脂やジョンソンワックス 122 (JW) を使用した。そして、いずれの潤滑剤を用いても、充てんに必要な面圧は同程度であることを報告した¹⁾²⁾。新たに、フッ化アルミニウム皮膜を化成するアルボンド A で素材の表面処理を行い、処理面に JW を塗布する潤滑手法を用いると図 4 が得られた。加工は第 3 段階までとし、第 1 段階のクッション材は B3 材としている。図 4 (a) において、JW のみでは 500MPa の面圧 p* で●印の製

表 1 対象とするはすば歯車と実験条件

歯車	インポリュート標準並歯、ねじれ角 22°、 モジュール 2 mm、歯数 22 枚、圧力角 20°、転位係数 0
素材	材質 アルミニウム: A1050, A6061
	熱処理 400°C × 360min 加熱後炉冷
	n 乗式 A1050: $\sigma = 148 \epsilon^{0.25}$, A6061: $\sigma = 206 \epsilon^{0.23}$ /MPa
	寸法 $\phi 42.5 \times H15$, $\phi 14 \times \phi 42.5 \times H16$, 外周 C2 面取り
ダイ表面処理	TiCN 皮膜処理無し, TiCN 皮膜処理有り
潤滑剤	ジョンソンワックス 122 (JW), JW+アルボンド A
加工温度・速度	約 0.2 mm/s, 約 20°C (室温)

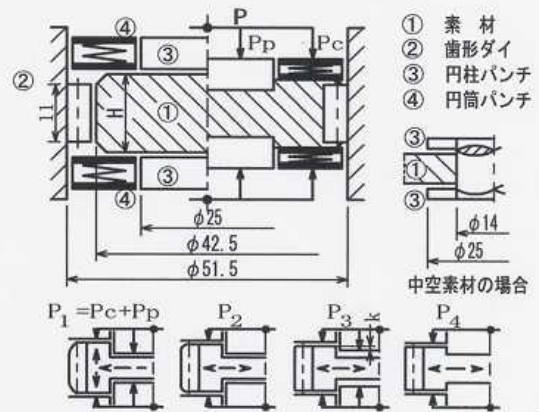


図 1 型工具構成と加工モーション

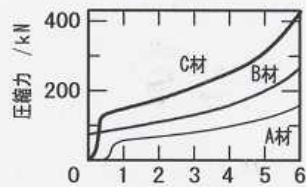


図 2 クッション材の変形特性



(a) クッション力 Pc* の影響 (b) 条件①の製品外観
図 3 加工モーション短縮の可能性 (A1050 中実素材)



p1: 363MPa
第 1 段階終了時



p1: 363MPa
p2: 353MPa
第 2 段階終了時

品が得られる(条件②の写真参照)。アルボンドを施すと、461MPaで同様な製品(■印)が得られ(条件③の写真参照)、407MPaまで面圧を低減させてもほぼ■印の製品を得ることができ、アルボンドの面圧低減効果は大きい。図4(b)においても、JWのみでは505MPaで●印の製品が得られ、アルボンドを施すと458MPaで■印となり、面圧低減効果が同様に現れる。

ところで、変形する材料のダイへの凝着を無くし、製品離脱を円滑にするため、ダイ表面をコーティングすることも良く行なわれる。PVD(物理蒸着)法を用いてTiCN皮膜した歯形ダイを新たに製作してみた。図5(a)において、表面処理ダイを使用することにより、424MPaの面圧で形状の良好な製品(▲印)が得られ、407MPaに面圧低減させてもほぼ▲印の製品となる。表面処理を施さないダイの製品(■印)の面圧と比較するとさらなる低減が期待でき、変形する材料の歯形ダイへの凝着は回避できていることを観察している。図5(b)においても436MPaでほぼ▲印の製品が得られ、上述と同様なことが知られる。

図5(a)中の条件④で加工された製品の精度検査結果を表2に示す。本加工はダイ形状を製品に転写する方法である。製品のピッチ誤差や歯溝の振れはダイと同様で、金型精度に倣って高精度で仕上がっている。歯形精度ではダイ形状に完全には倣わないものの製品間のばらつきは少ないことを確かめている。歯筋誤差はマイナスでねじれ角はダイのねじれ角よりも緩やかとなっている。なお、製品歯面を注意深く観察すると歯元部歯筋方向に僅かな凹みが発生していた。課題として、ダイ変更による歯形精度の向上や歯筋方向の凹みの解消が上げられ、ネットシェイプ化を実現して行きたい。

一連の実験から得られた製品(代表)の加工条件と材料充てん状況を表3に示す。一層低い面圧で黒塗り印の製品が得られる場合もあるが、ここでは安全側で判断している。表3から、簡便なJW潤滑において、2.50の面圧比で形状の良好な製品(●印)が得られることがわかる。さらに、素材にアルボンドなどを施せば、面圧比の一層の低減が期待できる(■印、▲印)。

5. 結言

得られた結果をまとめると次のようになる。

- (1) クッション力を適切に設定すれば、所望歯先円直径まで材料が充てんした製品が第2段階までの加工で得られる。
- (2) 必要となる平均加工面圧比はジョンソンワックス潤滑において2.5程度である。
- (3) 素材にアルボンド皮膜を化成すれば、上述の面圧比を一層低減できる。
- (4) ダイ表面にTiCN皮膜を施せば材料の凝着回避ができる。
- (5) 製品のピッチ誤差はダイ形状に倣っているが、歯形誤差は倣っていない。しかし、製品間のばらつきは少ない。

これらのことから、歯部間接加工方式でもはすば歯車の精密冷間鍛造が期待できる。

<参考文献>

- 1) 大賀ほか: 平18年塑加春季講演論集(2006), 209.

表2 歯形ダイと製品の歯車精度検査結果(単位: μm)

	はすば歯形ダイ		製品L面		製品R面	
	測定値	JIS(旧)	測定値	(旧)	測定値	(旧)
隣接ピッチ誤差			2.5	(0)	2.1	(0)
単一ピッチ誤差	5.1	N6(2)	4.3	(1)	2.3	(0)
累積ピッチ誤差	9.6	N4(0)	14.5	(0)	9.6	(0)
歯溝の振れ	17.3	N7(2)	17.1		(0)	
歯形誤差	7.0	N6(2)	19.0	N9	26.0	N10
歯筋誤差	2.8	N3(0)	-5.0	N4	-15.0	N7

(図5(a)中の条件④)

- 2) 大賀ほか: 57 回塑加連講演論集(2006), 33.

- 3) 大賀ほか: 塑性と加工, 41-477(2000), 53.

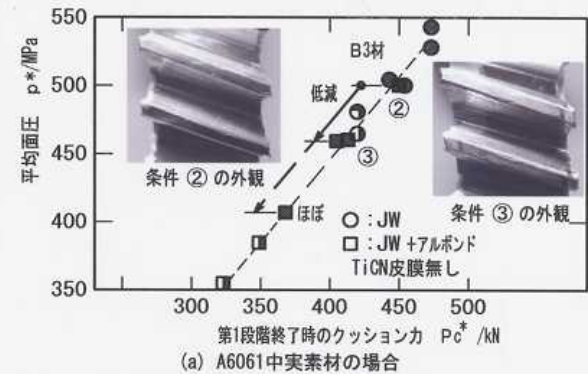


図4 アルボンドAの影響(第3段階までの加工)



図5 ダイ表面処理(TiCN)の影響(第3段階までの加工)

表3 はすば歯車の加工条件と材料充てん状況(代表例)

素材	加工力 kN			平均面圧 MPa	面圧比	ダイ表面	潤滑剤	充てん		
	第1	第2	第3							
A1050 中実	760	560	615	368	2.49	TiCN 無し	JW	●	ボンド の影響	
	755	560	358	2.42	●					
A6061 中実	1020	785	820	500	2.43		ボンド +JW	●		
	935	715	765	461	2.24			■		
A6061 中空	950	785	840	505	2.45		ボンド +JW	●		TiCN 有り
	865	715	755	458	2.22			■		
A6061 中実	875	670	680	424	2.06	▲	TiCN の影響			
A6061 中空	830	690	705	436	2.12	▲				