

外径絞りを伴う冷間押出しによる平歯車の成形

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2008-01-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 吉田, 始, 沢木, 洋三 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.14945/00000185

外径絞りを伴う冷間押出しによる平歯車の成形

吉田 始*・沢木 洋三*

Shaping of Spur Gear by Cold Extrusion
through Reducing Outer Diameter of Workpiece

Hajime YOSHIDA and Yozo SAWAKI

The shaping of spur gear by cold extrusion through reducing the outer diameter of workpiece is examined experimentally. The specifications of gear tested are as follows : module $m=1.0, 1.25, 1.5$, pressure angle $\alpha=20^\circ$, number of teeth $Z=22, 18, 16$, whole depth $h=2.25m$, bore diameter $d_i=0\sim 15\text{mm}$. The material used is low-carbon steel, JIS S15C. It is found that this method can produce much better shaped spur gears, having complete tooth, than the extrusion without reducing the outer diameter of workpiece. Especially, even the gear having relatively small size bore can be also well shaped. And the higher the reduction in area, that is, the larger outer diameter and/or larger inner diameter, the higher punch pressure is needed and the better shaping can be achieved. The minimum punch pressure to shape complete tooth is related to the reduction in area, and width of defective tooth, appeared on near the both end parts, seems to be controlled by the punch pressure.

key words: cold extrusion, spur gear, reduction in area, complete tooth, tooth strength.

1. まえがき

塑性加工による歯車の成形の試みが以前より種々行われてきている。例えば、団野ら¹⁾の熱間転造法によるはずば歯車の成形や近藤ら²⁾の分流方式による平歯車の冷間鍛造などが報告されている。

著者らも、押出しによる平歯車の成形に関する研究を行ってきた³⁾。この方法は、パンチに作用する面圧力が小さい事が特徴であって、これまでの研究により、型強度の点からも各種歯車素材に充分適用出来る方法である事が確かめられた。先に円筒試料の外径を絞らずに押出す方法により、平歯車の成形が可能であることを報告³⁾した。しかし、所定の歯たけの成形品を得るためには、断面減少率の値に下限値が存在する事が示された。この値は、モジュールや歯数等の歯車諸元に関係しないようであり、鋼材料S15Cではほぼ30%程度（面圧560MPa）であった。よって、この方法で、歯数の多い歯車を対象とする場合には、試料内径を大きくすることが必要となる。すなわち、リング状の歯車の成形は可能であるが、内径の小さい歯車の成形は、

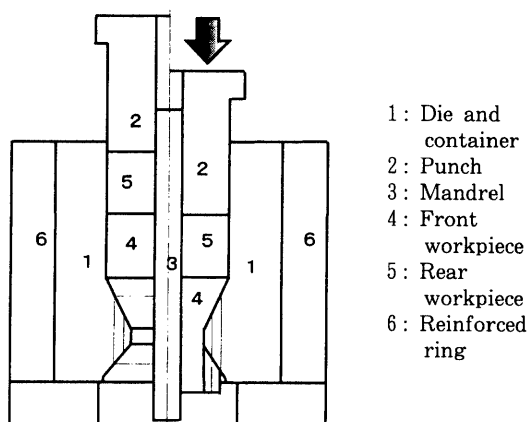
困難である。

そこで、本研究では、試料の外径を絞る方法により軸穴である内径が、外径に比して小さい歯車の成形の可能性について検討した。これは冷間押出しによる歯車の成形に関する一連の研究の1つでもある。

2. 実験

2. 1 実験装置及び対象とした歯車諸元

実験に使用した型の概要を断面図としてFig. 1に示



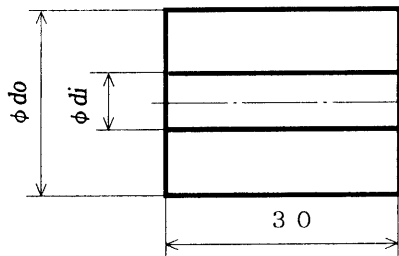
- 1: Die and container
- 2: Punch
- 3: Mandrel
- 4: Front workpiece
- 5: Rear workpiece
- 6: Reinforced ring

Fig. 1 Schematic diagram of experimental equipment

Table 1 Specification of spur gear and inner diameter of container

m	1.00	1.25	1.50
Z	22	18	16
dk/mm	24.5	25.6	27.75
dr/mm	20.0	20.0	21.0
χ	+0.25	+0.25	+0.25
h/mm	2.25	2.8125	3.375
Dc/mm	26, 28, 30	26, 28, 30	28, 30, 32

m : Module Z : Number of teeth
 dk : Tip diameter of gear dr : Root diameter of gear
 h : Whole dept χ : Addendum modification coefficient
 Dc : Container inner diameter



$d_o = 26, 28, 30, 32$ mm

$d_i = 0, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 14$ mm

Fig. 2 Size and dimensions of workpiece

す。中心線より左側は成形前の様子を示した模式図で、円筒状の先行試料4及び後続試料5をマンドレル3とともにコンテナ1に挿入した状態である。これをパンチ2で押出すと、ダイス1によって先行試料の外径が絞られ、歯が成形される。中心線の右側が、この状態を示した模式図である。この時、パンチの降下速度は、ほぼ $30 \mu m/s$ の低速とした。

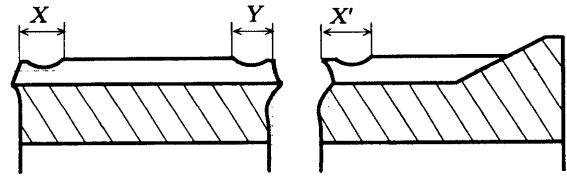
型の材質、熱処理の条件、仕上げ状態などは先の報告³⁾と同じである。

対象とした歯車諸元をTable 1に示す。モジュール $m=1.0, 1.25, 1.5$ 、歯数 $Z=16, 18, 22$ の3種類の歯車である。これらの歯車の成形に用いたコンテナの径 Dc の値は、26、28、30、32mmの4種類である。

2.2 実験材料

実験に使用した材料は低炭素鋼S15Cである。この材料の応力 σ -ひずみ ε の関係は、 $\sigma = 715 \varepsilon^{0.215} MPa$ で示され、ひずみ $\varepsilon = 1$ までの平均変形抵抗 $\bar{\sigma}$ は560.9MPaである。

丸棒素材から機械加工によりFig. 2に示した寸法形状の試料を作製した。ダイス絞り部分の傾斜に先端部分の形状を合わせたノーズ付き試料も一部の実験に用



Front product Rear product

X, Y, X' : Width of defective tooth

Fig. 3 Schematic representation of shaped tooth in longitudinal direction (cross section)

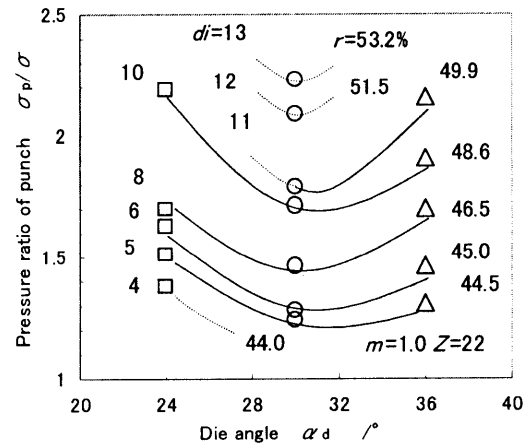


Fig. 4 Relation between mean pressure and die angle

いた。これらの試料表面にはボンダライト・ボンダリュウベ処理を施した。さらに、実験に際してはこの上にジョンソックスJP103を薄く塗布した。この状態でのせん断摩擦係数の値は、リング圧縮試験より、0.13程度と推測された。

3 結果及び検討

3.1 成形品と未充てん

成形品の長手方向中央部で切断し、断面上で成形された歯たけ h_1 を測定した。この値と目標とした歯たけ h との比、 h_1/h を求め、成形度の指標とした。以下これを成形度 A と表す。

また、成形度が100%であっても、成形品の端面近傍には、Fig. 3に模式的に示したように、素材が歯先まで流動していない未充てん部分が現れる場合があった。この長さを未充てん長さと呼ぶことにし、図のようにそれぞれ X, Y, X' と表す。なお、後続試料の図は、成形途中の様子を示したものである。Fig. 1にて先行試料4を押し出した後、後続試料を挿入し再び押し出す事を繰り返す、いわゆる連続成形の場合には、未充てん長

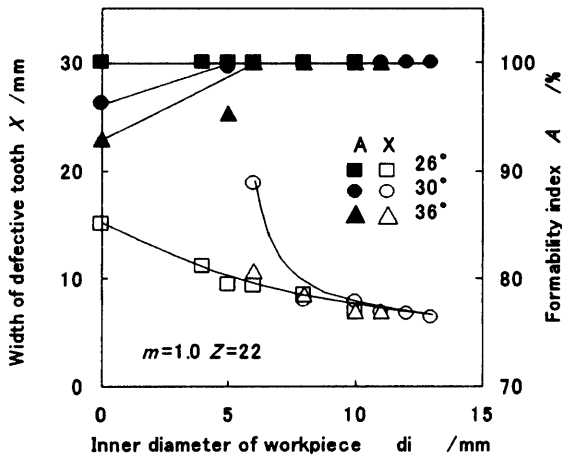


Fig. 5 Relation between formability index and inner diameter

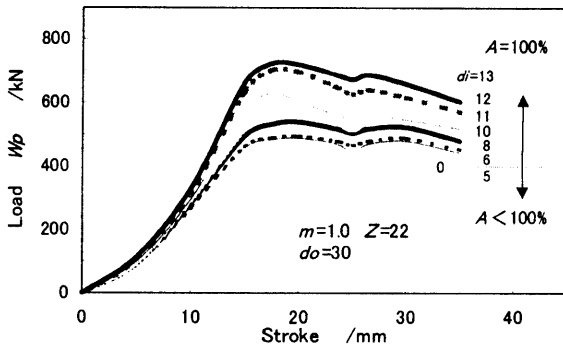


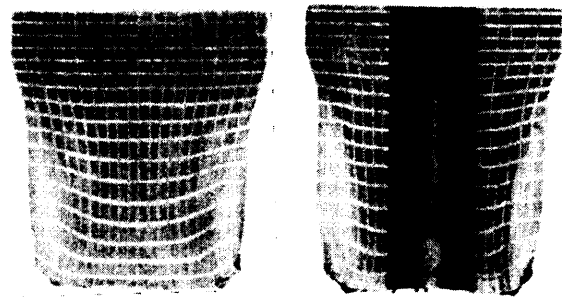
Fig. 6 Load-Stroke curve

さは、ほぼX'とYの繰返しとなっていた。

3. 2 ダイス角の影響

前報³⁾と同様、ダイスを通して試料を押し出す際に計測された最大荷重をパンチの断面積で除した値をパンチ面圧 σ_p と呼ぶ事にする。このパンチ面圧とダイス角度との関係を、Fig. 4に示す。図では、このパンチ面圧 σ_p を試料素材の平均変形抵抗 σ で除した無次元化面圧として示してある。モジュール $m=1.0$ 、歯数 $Z=22$ でコンテナ径 $D_c=30\text{mm}$ とした場合の例である。図中の曲線は、試料内径 d_i が同じ値（曲線の左側の値）の点を結んだものである。すなわち、これらの点は、断面減少率 r の値（曲線の右側の値）が同じ点となっている。断面減少率が同じ値でもダイス角によって面圧は異なり、角度 30° 付近で極小値を示すようである。

ダイス角の影響を成形度 A で見たものが Fig. 5である。ダイス角の小さい場合、内径の小さいものまで充てんした成形品が得られた事がわかる。内径外径比が小さい試料では、ダイス角を小さくする事が有利



$d_i = 0\text{mm}$

$d_i = 10\text{mm}$

Fig. 7 Grid pattern change on longitudinal cross section of products ($m=1.5$, $Z=16$, $d_o=30\text{mm}$)

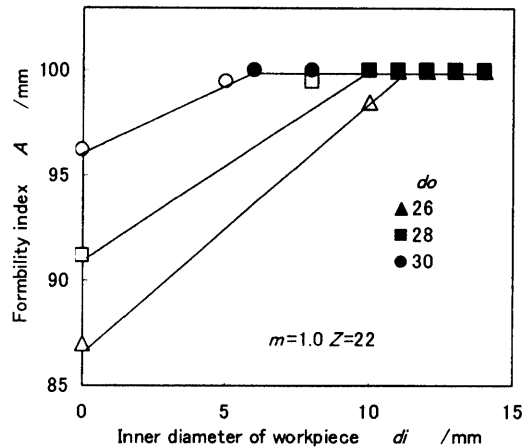


Fig. 8 Inner diameter and formability index as a function of outer diameter of workpiece

であると思われる。但し、図中に示した未充てん長さ X の値は、内径の小さいものほど、大きくなることに注意する必要がある。この未充てん長さに対するダイス角の影響は、さほど大きくない。

これらの点を考慮し、以降に示すデータはダイス角 30° の場合の結果について整理した。

3. 3 試料内径 d_i の影響

試料外径 d_o の値を一定（ 30mm ）とし、内径 d_i を $0 \sim 13\text{mm}$ まで種々変化させた場合の荷重行程曲線の一例を Fig. 6に示す。モジュール $m=1.0$ 、 $Z=22$ の歯車を成形した場合の例である。内径 d_i が小さい場合には、初期の荷重上昇（非定常過程）後ほぼ一定の値（定常過程）を示した。ただし、内径が 5mm 以下の場合には、成形度は 100% 以下で、充てんした成形品は得られなかった。一方、 d_i が大きい場合には、荷重が極大値を示した後下降した。

そこで、充てんする場合と、充てんしない場合での材料の流動の様子を、 $d_o=30\text{mm}$, $m=1.5$, $Z=16$ の

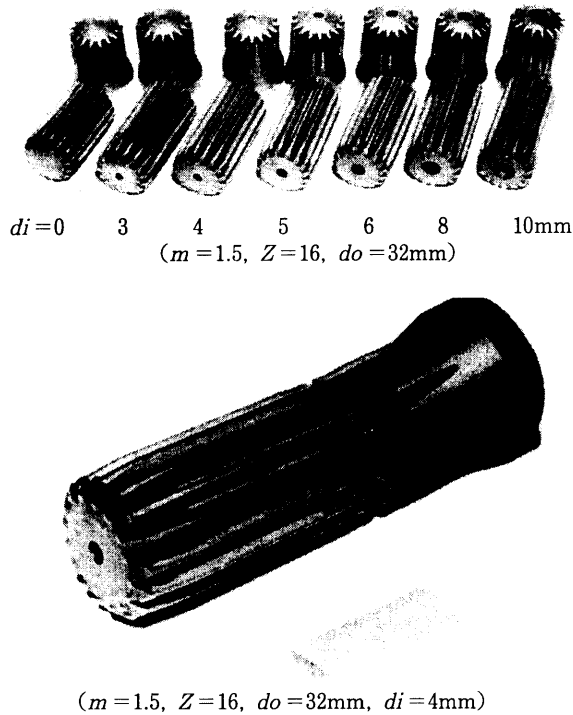


Fig. 9 Example of products

場合の成形で比較してみた。すなわち、まず、長手方向に二等分した一組の試料を準備し、試料の分割断面上に格子をけがいておく。この試料を押し出す。Fig. 7は、押し出しの途中で試料を取り出し、断面上の格子が材料の流動によってどのように変化したかを見たものである。内径 $di=0$ mmの場合は、充てんしなかった。この場合、試料中央部でも格子が変形しており、材料が軸方向に全体的に伸びた事がわかる。よって、試料内部の変形にも荷重の一部が費やされ、歯の成形が不十分となり、充てんしなかったものと考えられる。一方、内径 $di=10$ mmの場合は、充てんした例である。この場合にも歯部分だけでなく内部でも変形した格子模様となっている。しかし、マンドレルがあるために、当然の事ながら、その変形は歯先からマンドレルまでの間に限定される。また、この場合の方が、成形時の荷重は高く (Fig. 6)、単位体積当りに供給されるエネルギーが大きくなり歯の成形に有利であったと考えられる。よって di が大きいもの (断面減少率の大きく面圧の高いもの) ほど歯が成形されやすいと言える。

3. 4 試料外径 (コンテナ径) do の影響

成形する歯の条件を同一 ($m=1.0$) とし、試料外径 do を変化させた場合、 do の大きいものほど成形に必要な荷重が大きくなり、これと共に成形状態も大き

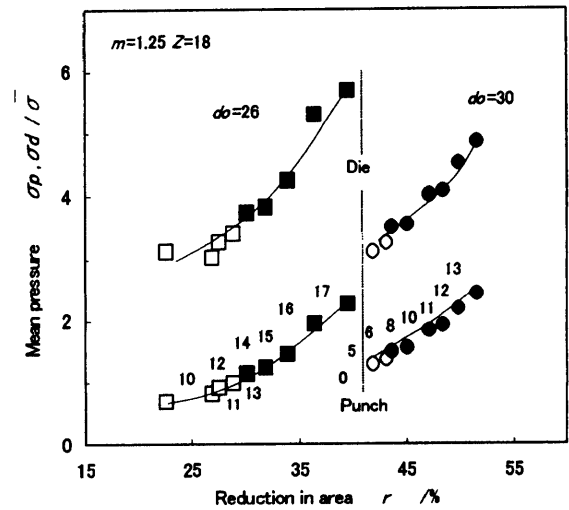


Fig. 10 Reduction in area and mean pressure

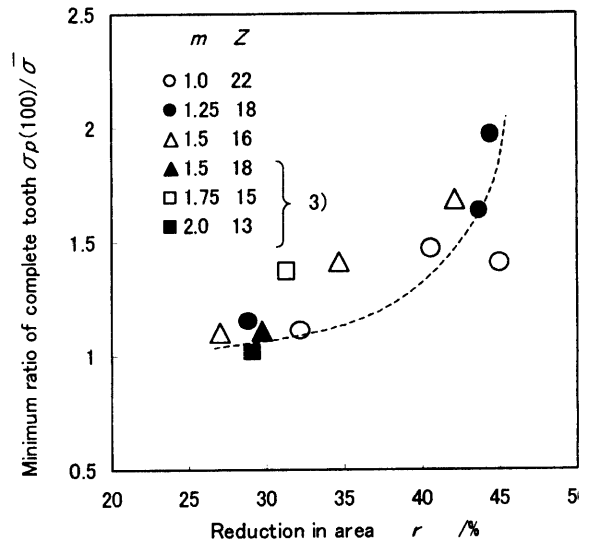


Fig. 11 Minimum punch pressure and reduction in area

く改善された。この時の成形度をFig. 8に示す。外径 do を26、28及び30mmと変化させた場合である。コンテナ径が大きい場合ほど断面減少率が大きくなり、これとともに成形状態は大きく改善されている。充てんした成形品が得られる内径を見てみると、 $do=26$ mmでは $di=12$ mm以上、28 mmでは10 mm以上、30 mmでは6 mm以上であった。外径を大きく絞れば荷重は増大するが内径が小さいものまで成形が可能であることを示している。一例として $m=1.5$ の試料内径 di が小さい場合の成形品及び内径4 mmの穴を持つ成形歯車の拡大写真をFig. 9に示す。

3. 5 歯の成形と面圧の関係

面圧と断面減少率 r との関係の一例を $m=1.25$ 、 $Z=$

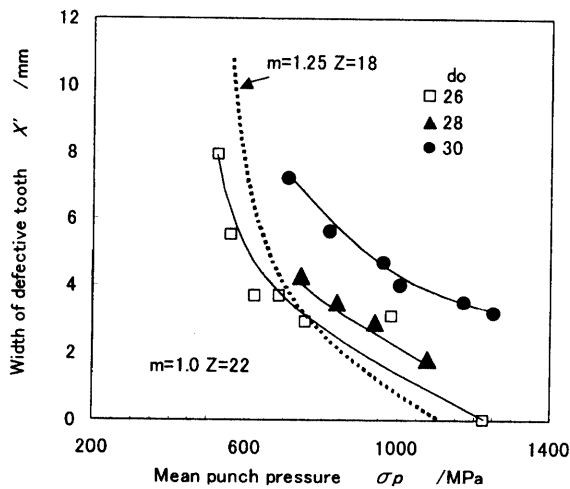


Fig. 12 Punch pressure and width of defective tooth

18の場合について、Fig.10に示す。図中、垂直に引いた破線より左側のデータ点は、試料外径 $d_o=26\text{mm}$ で外径絞りの無い場合の結果³⁾で、破線の右側は、試料外径 $d_o=30\text{mm}$ を歯車外径 25.6mm に絞る本研究結果である。データ点に付けた数字は、内径 d_i の値を示したものである。いずれの場合にも、内径が増し、断面減少率が増加するにつれて、面圧も増加している。

中実印で示したデータ点は、成形度100%の成形品が得られたことを意味している。図の例の場合、外径を絞る場合には、断面減少率 r が43%以上で、面圧 $\sigma_p/\bar{\sigma}$ が1.3以上で充てんした成形品が得られる事になる。また、外径を絞らない場合には、 r が30%以上、面圧 $\sigma_p/\bar{\sigma}$ は、1.0以上が必要である。

これら成形度100%となる面圧の最低値 σ_p (100)は、実用的見地から出来るだけ低い事が望ましい。これらの値をFig.11に断面減少率との関係として示した。図には、試料外径を絞らない場合についての他の結果も併せて示してある。図のように、充てんした成形品を得るための最小面圧は、絞る、絞らないによらず、ほぼ1本の曲線として表されるようであり、断面減少率で整理できると言える。

同様に、ダイスの強度保証も実用的見地から重要な問題である。そこで、前報³⁾と同様、最大荷重をダイス歯部分の投影面積で除した平均圧縮応力 σ_d を求めた。これも参考までに、Fig.10中に示しておいた。この値は、かなり高くなっている。実際には、コンテナ壁面と試料との摩擦を考慮した面圧として示すべき値である。しかし、少なくともこれ以上の値となることは無いので、実用化の参考として示したものである。

絞りが無い場合の結果では、後続の成形品の成形状

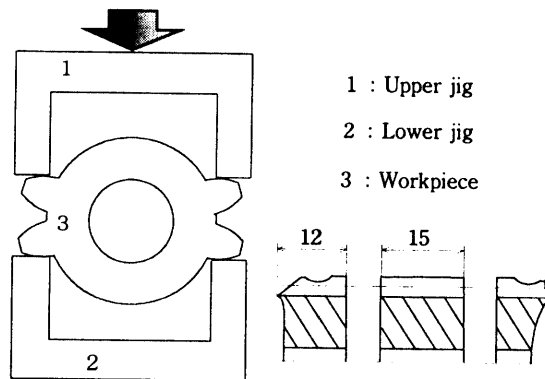


Fig. 13 Test jig to determine tooth strength

態を表す未充てん長さ X' の値はモジュールの大きさには余り依存せずほぼ面圧によって決まることが報告⁵⁾された。そこで面圧と未充てん長さ X' との関係を調べた結果をFig.12に示す。図中に示した破線は、Fig.10に示した $m=1.25, Z=18$ の場合の $r-\sigma_p$ の関係及び別途測定した $X'-r$ の関係を用いて描いた外径絞りの無い場合の結果である。これに対して、外径を絞る本実験結果は、 $m=1.0, Z=22$ で外径を絞らない場合と若干異なるが、結果は破線に近い位置にプロットされ、やはり未充てん長さは面圧によって決まると言えるようである。しかし、外径を絞る場合には、絞る割合が大きくなるほど X' の値は大きく成形状態が悪くなっている。この違いは、面圧を計算する時の最大荷重の値として、試料とコンテナ間の摩擦抵抗も含めた値を用いている事などが原因の1つと考えられる。すなわち、試料外径 d_o の大きい場合ほど摩擦力は大きい事が予想され、この摩擦力を差し引いた値で面圧を計算し、整理すべきものと思われる。今のところ詳細は不明であって今後の研究に待ちたい。

3. 6 成形歯車の歯の強さ

歯の強度を調べるために、まず成形された歯車の長手方向中央部分で幅15mmの試料を切り出した (Fig.13)。この歯車の中心線上に位置する左右2枚の歯のみを残し、他の歯はすべて切削除去した試験片を作製した。この試験片をFig.13に示す様なジグで歯部分を挟み、圧縮試験機にて荷重を負荷した。これにより歯が破断する荷重を測定した。モジュール $m=1.25$ 、歯数 $Z=18$ の場合、単位歯幅当たりの破断荷重の平均値は、 1.49kN/mm であった。

これに対して、創成歯切りの歯に対しても同じ測定を行ったところ、 1.22kN/mm が得られた。押し出し成形された歯は、約20%程度強度が高い値となっていた。

4. まとめ

外径絞りを伴う押出しによる平歯車の成形について検討し、実験条件の範囲で以下の結果を得た。

- (1) 外径を絞る事によって面圧がより高くなり、同一諸元の成形品では、外径絞りの無い場合に比較して歯の成形度が改善された。また、小さい軸穴を持つ歯車の成形も可能である事がわかった。
- (2) 断面減少率 r とともに、面圧も増加し、歯の成形度が向上した。すなわち同一寸法のダイスを用いる場合には、試料内径及び外径ともに大きいものほど、成形度が高くなった。
- (3) 試料中央部断面上で測定した成形度が100%となる時のパンチ面圧の最小値は、試料外径を絞る、絞らないにかかわらず断面減少率でほぼ整理できるようである。
- (4) 試料の端面近くに生ずる歯の未充てん部分の長さは断面減少率の増加と共に減少し、面圧によって決まるようである。しかし詳細にみると絞る割合によっても変化しており、今後の研究が必要である。
- (5) 成形された歯の強さは創成歯切法で製作された場合より20%程度上昇していた。

本研究の一部は、日本学術振興会平成13年度科学研究費補助金（課題番号13650115）によって行われた。記して謝意を表します。

また、本研究で使用した型は、本学工作技術センターで製作された。ご協力いただきました同センター職員（松野貞雄、佐原和芳、神尾恒春、岩澤充弘、磯谷章、岡本哲幸）に感謝いたします。また、S15C素材は、川崎製鉄（株）より提供されたものである事を記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 団野 敦・田中利秋：塑性と加工, 28-320 (1987), 964-971.
- 2) 近藤一義・大賀喬一：塑性と加工, 27-300 (1986), 121-131.
- 3) 泉澤正郎・吉田 始・長瀬康男：塑性と加工, 32-367 (1991), 982-987
- 4) 村上 紘・高橋裕男：塑性と加工, 32-369 (1991), 1244-1249.
- 5) 沢木洋三・吉田 始：機械学会論文集(C), 66-648 (2000), 2791-2796.