

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年04月11日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008年～2011年

課題番号：20560104

研究課題名（和文）

拡張後絞る押出しによるバリ無し歯車の成形に関する研究

研究課題名（英文）

Research on shaping of burr less gear by cold extrusion through reducing after expansion
workpiece diameter

研究代表者 吉田 始 (YOSHIDA HAJIME)

静岡大学・工学部・助教

研究者番号：90283340

研究成果の概要（和文）：

試料外径を絞る押出しで歯車を成形すると、面圧（荷重）は低い成形品端面にバリ状の凹凸が生じる。逆に試料内径を拡張しながら成形すると、端面に生じる凹凸は小さくなるが荷重は高くなる。本研究はこの2つの方法の長所を取入れ、拡張後絞る型構成として成形実験を行った。低い荷重でバリ状の凹凸の少ない成形品を得て、最終的にプレスラインのみで歯車を製品とすることにある。

まずこのような方法で、歯車が成形出来ることを確認した。良好なる成形品を得るための断面減少率の下限値を求めることが出来た。その場合の型に負荷される成形面圧が型強度よりも十分に低い値であることが確認できた。端面に生じるバリ状の凹凸については、歯車成形方法として以前から提案をしている二段充てん法に比較し、小さくすることは出来たが無くすることはできなかった。

端面の凹凸が小さくなったので、その矯正はプレスを用いることで可能であることを示すことが出来た。

研究成果の概要（英文）：

When extruding a gear while confining the outer diameter of the workpiece, burr-like irregularities occur on the end surface of the shaped form although the pressure (load) is low. When extruding a gear while expanding the inner diameter of the workpiece, the irregularities on the end surface become smaller but the load becomes greater. A shaping experiment was conducted in this study to take the respective advantages of the above two approaches by adopting a procedure of extrusion after expansion. The intention was to obtain a shaped form having small burr-like irregularities with a low load, and eventually produce gears using only a press line.

First, it was found possible to form gears using the above method. The lower limit of cross sectional reduction in area to obtain a favorable gear was determined. The needed pressure of the punch, mandrel, and die is far below the strength of the punch, mandrel, and die materials. The burr-like irregularities on the end surface could be reduced in size compared with the two-step extrusion method, which has been proposed for gear shaping, but could not be eliminated completely.

It was found that the irregularities could be rectified with a press machine because of their reduced size.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：成形加工，冷間押出し，平歯車，はすば歯車，内歯車，鍛流線

1. 研究開始当初の背景

自動車やオートバイの変速機などに大量に使われている平歯車や、はすば歯車の多くは合金鋼を素材として、ホブ盤あるいはギヤシェーパーで切削除去加工により成形されている。高速化はしているが、成形時間が長い、大量の切屑発生がコスト削減の妨げになっている。さらに高性能のホブ盤があればどの国でもそれなりの歯車を成形することが可能となっている。

その様なことから、日本の基幹産業である自動車産業を支える歯車類を製造する部品メーカーも、世界の会社を相手に熾烈な競争に曝されている。その成形技術を一步でも先行し、有利な状況を作り出す必要がある。そのため切削除去加工でない方法の歯車成形である冷間での塑性変形を利用した研究が精力的に行われてきた。その結果、鍛造と押出しで一部分の製造であるが歯車成形が実用化され始めている。しかしどの方法でもネットシェイプではなく、最終製品とする場合には切削の後加工が必要となっている。

さらに鍛造での成形は分流を利用し型に負荷する面圧（荷重）を下げる工夫がされているが、その値はかなり高いもので、高変形抵抗素材の合金鋼への適用はかなり厳しいと思われる。

それに対し、押出しでの成形は、素材の逃げが常に確保されるため、型に負荷される面圧は驚く低さである。また成形品端面に生じる未充てんも連続成形することで歯全面に充てんした成形品が得られるようになった。

さらに近年では地球温暖化の原因とされる二酸化炭素排出の低減が環境問題として大きなテーマとなっている。自動車やオートバイには、この問題を克服する方法の一つとして軽量化がある。塑性変形を利用し冷間にて歯車成形が出来れば、鍛流線の連続と加工硬化により強度を付与することができ軽量化が可能となる。

しかし通常の押出しでは図1に示すように、端面にバリ状の凹凸が生じる。現在実用化しているものでは旋盤を用いた旋削により除去する、後加工が必要となっている。コストを下げるためには後加工である切削工程を必要としないプレスラインだけで製品化が大きな課題となっていた。



図1 外径絞り押出しでの成形品後端面 (モジュール1.25 歯数18)

2. 研究の目的

成形時間の短縮，素材歩留まり向上等の問題点を解決する方法として、著者らは平成13～15年と平成16～18年に交付された科学研究費により二段充てん法を提案した。この方法は試料素材を二段階に絞ることと円周方向に流動させることにより、低断面減少率で充てんが可能で鋼素材としては非常に低い面圧で冷間成形ができており、自動車の自動変速機用歯車として実用化されている。しかし、この方法では図1に示したように成形品後端面にバリ状の凹凸を生じる。実用に当たっては、これらのバリを除去するため旋削の後加工が必要となっている。旋削不要の成形品を得ることが出来ればコスト削減の効果は計り知れない。

他方著者はストレートの歯付きのダイス・コンテナと段差段丘部を持つマンドレルを用いて試料内径を拡張しながら押出す内

径拡張法で型強度の許す面圧で図 2 (a) に示す成形品後端面にバリ状凹凸のない成形品を得ている。内歯車についても逆の型構成とすれば同様(図 2 (b))に得られる。しかし成形に要する面圧(荷重)はかなり高いものとなり、型破損の危険、寿命の縮減や大容量機械が必要となっている。



平歯車

内歯車

図 2 内径拡張法での成形品後端面の写真

本研究ではこれらのことを踏まえ、低断面減少率での成形が可能である外径絞り押し法とバリ状凹凸の出ない内径拡張法とを組み合わせ低面圧でバリ状凹凸の無い、あるいは少ない歯車を得る成形法を開発する。

この成形法は試料内径を拡張し、素材を半径方向外向きに流動させ、端面に生じるバリ状の凹凸を防ぐと共に一旦拡張された試料を絞る法を用い、低い断面減少率で良好なる成形品を得ることにある。

新たに提案したダイス形状を用い、成形品端面に生じる凹凸をプレスでの修正とし、後加工の旋削なしで歯車製品とすることを最終目標としている。今までに提案されていない方法での成形の可能を調査する。以下のことを主に明らかにする。

- 1) 充てんした歯車成形品を得るための断面減少率の下限値
- 2) 型に負荷される面圧
- 3) 成形品端面に生じる凹凸

文献 1)冷間鍛造工法による低コスト高機能内歯車部品の開発, 鈴木正, 沢木洋三, 吉田始, 他 3 名, 塑性と加工, 46 巻 539 号, 1151-1155, (2005).

3. 研究の方法

1)初年度の平成 20 年には提案した方法で押し出しで成形品が出来るかどうかを素材の材料流動から明らかにする。

調査項目はダイス拡張部、絞り部とマンドレル段丘部の関係には低荷重、低面圧で充てんしやすい最適位置が考えられるので最適位置を調査する。外径 24mm, 内径 10-14mm で高さ 20mm の円筒試料を用いた。

用いた型の模式図とダイス歯付き部分

の写真を図 3 に示す。写真からも拡張してから絞る形となっていることが判る。

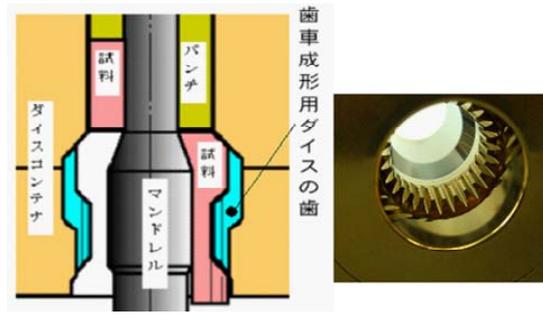


図 3 型構成とダイス歯部分の写真

2) 提案した試料内径を拡張する成形方法はダイス荷重の一部をマンドレルが受け持つことからダイスには優しい型構成となる。それらの荷重を測定し冷間加工として低荷重(面圧)での成形の可能性を明らかにし、低容量機械でも成形が可能であることを確認する。成形対象歯車はモジュールは 1.0mm である。

3) 学会や会社訪問で歯車製造のメーカーの技術者と話すと、外歯車はホブ盤の性能向上が著しいため、[少々成形時間が早いことや素材歩留まりの向上では、現在稼働しているホブ盤を捨ててまで、プレスライン導入には抵抗がある]とのことである。

そこで図 4 に示すように、型構成を逆にして自動変速機などに使われている遊星歯車装置用の内歯車を対象として成形の可能性を調査した。用いたマンドレルの形

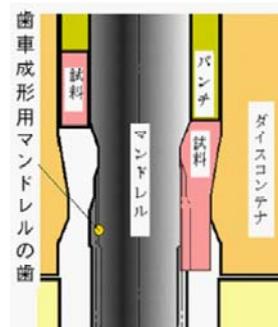


図 4 内歯車成形用型の模式図



図 5 内歯車成形用マンドレルの写真

状の一例として内はすば歯車を用を図5に示す。成形対象の歯車はモジュール1.0mm、歯数20、ねじれ角20°である。

4) 適用素材の範囲を拡げ低炭素鋼だけでなく中炭素合金鋼，低炭素鋼に予め浸炭した試料について成形の可能性を調べる。成形された歯車歯部分の極表面や歯面の硬さ分布をナノインデントで調査し歯車成形後の熱処理省略が可能か調べる。

5) 精度の良いダイスを製作し成形品精度を測定し実用化を図る。

4. 研究成果

1) 今までに提案されたことのない成形方法である図3に示す型構成で歯車を成形する部分の無い型を用い，このような方法でも試料素材を押出すことが出来ることを確認した。マンドレルの設置位置は，試料の拡張が終了してからダイスによる絞りが始まる位置が低い荷重となった。

2) 歯付きの型構成にて歯車を成形した。その一例を図6に示す。試料の初期内径を10mmから15.5mmに拡張した場合で断面減少率では約2.0%程度の低いものである。マンドレルにより試料素材が内径を拡張された後にダイスにより絞られ歯車が成形されつつあることが判る。十分に良好なる歯車が得られている。



図6 成形品の写真（試料内径10mm）

この場合の荷重行程曲線を図7に示す。試料を5個連続的に押出した場合である。マンドレルを用い無い場合には，パンチの荷重がダイスに負荷されると考えることが出来るが図から判るようにマンドレルが荷重を受け持っていることが判る。またパンチ荷重は530kN程度であり容量の小さな機械でも成形が可能であることを示している。この場合のパンチ面圧の値は1400MPa程度であり，高速度鋼などの強度3000MPaに比較すれば十分に低い値である。このような成形方法で押し出し成形され

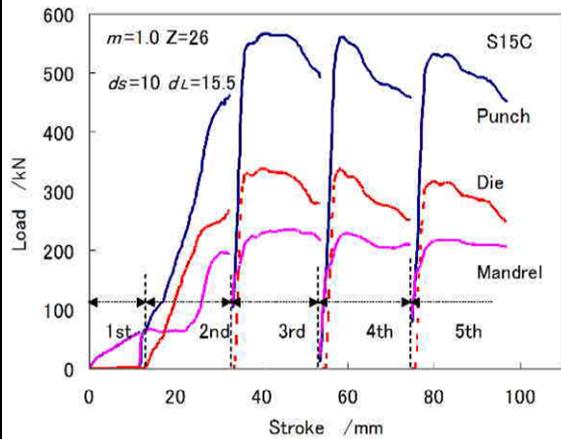
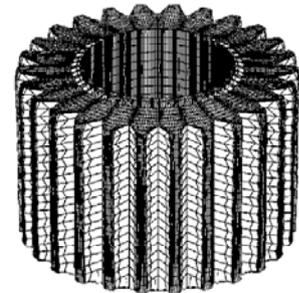


図7 荷重行程曲線
(試料内径を10→15.5mmに拡張)

た成形品の写真を図8に示す。十分に充てんした歯車が得られていることが判る。実験と同じ条件とし有限要素解析で得られた成形品を(b)に示す。実験の結果とよく



(a) 平歯車 前端部分 後端部分



(b) 解析で得られた平歯車成形品



(c) ほぼ歯車

図8 成形品の写真

似た成形品となっていることが判る。

図9は後端面に生じた凹凸(バリ)の長さを測定した一例である。横軸は断面減少率、縦軸が凹凸長さを表している。外径絞りでの凹凸は断面減少率が大きくなると増加する傾向となっている。それに対し菱形で示した本成形方法での凹凸は断面減少率によらず、ほぼ一定である且つ非常に小さくなっていることが判る。しかし残念ながら零にすることはできなかった。

成形した歯車を実用に供する場合、プレス等の圧縮機械を用いクラウニングの作業を行う場合がある。そこでこの作業に端面の矯正を組み込めば、クラウニングの成形と凹凸の矯正が同時に行えることになる。

以上のことから、プレス加工だけで歯車最終製品とする可能性が示唆できる。

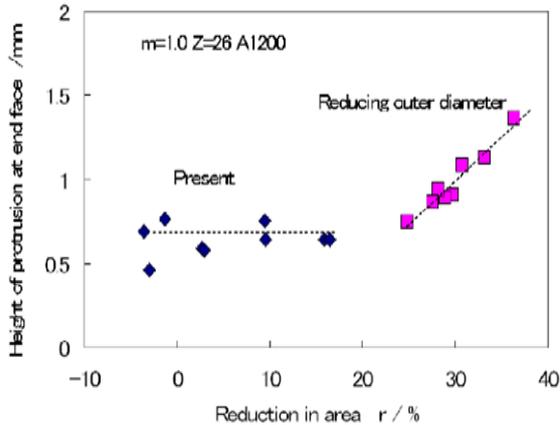


図9 断面減少率と端面の凹凸

3) 型構成を逆にし、絞り後拡張する方法で得られた内歯車成形品を図10に示す。図から判るように十分に良好なる内はすば歯車が得られている。端面に生じる凹凸も少ない成形品となっている。



図10 内はすば歯車の成形品

目標とした歯車の歯成形状態を調査した一例を図11に示す。横軸は成形された歯車の前方からの距離、縦軸は成形度を示す。成形度とは成形された歯車の歯の高さを表し100%が充てんしたことを示す値で

ある。充てん未充てんの境界の断面減少率は1.5から4.2%の間であることが判る。ただ断面減少率が低い4.2%の場合には少しではあるが、成形品の端面に未充てんが生じていることを示している。

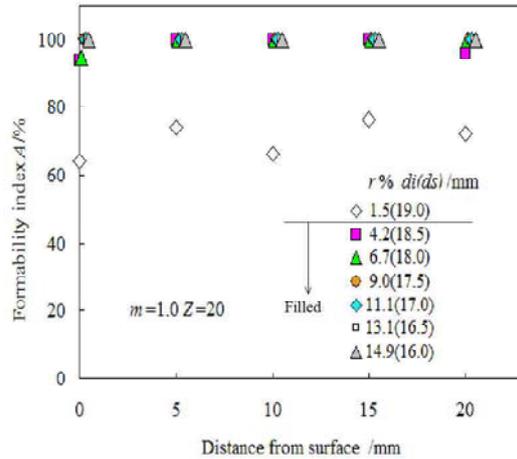


図11 成形状態と断面減少率

実験中に得られた最大荷重をそれぞれの型の投影面積で除した値を、パンチ、マンドレル及びダイスの成形面圧とし一例を図12に示す。図から判るようにパンチとマンドレルは500MPaを少し上回る程度で鋼を試料素材とした場合としては非常に低い。

ダイス面圧に関しては1400MPa程度となっている。この値は試料とダイスとの摩擦も含まれている値となっている。実際の値はかなり低いと考えられる。しかし外歯車の項でも述べたが型強度から見ればどの値も十分に低い値である。

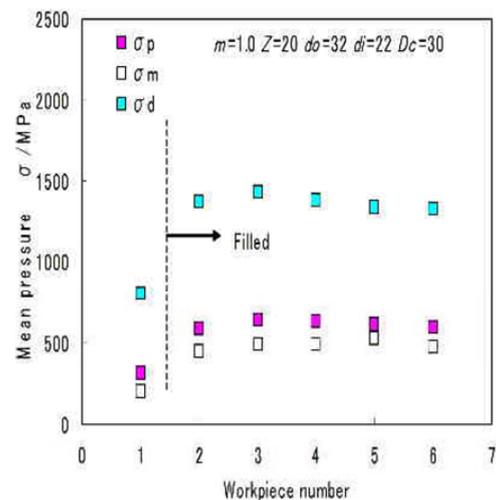


図12 成形面圧
(試料外径32→30mmに絞る)

4) 低炭素鋼だけでなく実際の歯車には浸炭して用いる場合には合金鋼であるSCM415等の低炭素合金鋼、高周波焼入れして用いる場合はS45Cなどが使用されている。これらの素材は本研究で主に用いたS15Cに比較すると遙かに高い変形抵抗を持つ。そこでS45C中炭素鋼を用い成形を行った。

その結果は成形面圧を試料素材の変形抵抗で割無次元化した値は、S15C素材を用いた場合とほぼ同じ値を示した。

5) 成形された歯車の精度について現在の所歯溝の振れとピッチ誤差のみが測定されている。その結果は旧JIS規格4-6級程度となった。詳しい測定はこれからである。

成果内容の詳細については、これまでの学会での報告と、現在まとめているデータ等については、口頭発表や論文投稿を予定しているのでそちらの参照をお願いしたい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

1. 吉田始, 坂井田喜久, 沢木洋三, 中村保, 早川邦夫, 磯谷章, 内径拡張を伴う外歯車の押出し成形, 塑性と加工, 53, 2012, 140-144. 査読有
2. Yoshihisa Sakaida, Hajime Yoshida and Shotaro Mori, Influence of Crack Face Bridging Stress and Microstructure on Fracture Toughness of Toughened Alumina Ceramics, Key Engineering Materials, 462, 2011, 972-978. 査読有
3. 吉田始, 沢木洋三, 坂井田喜久, 内径拡張押出しによる平歯車の成形, 塑性と加工, 51, 2010, 1083-1087. 査読有
4. 吉田始, 沢木洋三, 坂井田喜久, 松岡雄, 浸炭試料を用いた平歯車の押出し成形, 塑性と加工, 51, 2010, 1078-1082. 査読有
5. 吉田始, 坂井田喜久, 沢木洋三, 低断面減少率下での二段充てん法による平歯車の成形, 塑性と加工, 51, 2010, 979-983. 査読有
6. 吉田始, 沢木洋三, 二段充てん法による歯車の冷間押出し成形, 素形材, 2008,49, 1-6. 査読無
7. Hajime Yoshida, Yozo SAWAKI, Yoshihisa Sakaida, Shaping of Helical Gear by Two-Step Cold Extrusion, MATERIALS TRANSACTIONS, 49,2008,1163-1167. 査読有

[学会発表] (計29件)

1. 佐野雄哉, 坂井田喜久, 吉田始, 矢代茂樹, イメージベースモデルによる牛大腿部海綿骨の弾性的性質評価, 日本機械学会東海支部講演会, 2012年3月15~16日 愛知県名古屋市, 名古屋工業大学.
2. 中村伸彰, 坂井田喜久, 吉田始, 佐野雄二, 有限要素法によるレーザーピーニングした炭素鋼の残留応力解析, 日本機械学会東海支部講演会, 2012年3月15~16日 愛知県名古屋市, 名古屋工業大学.
3. 村井俊之, 坂井田喜久, 吉田始, 上坂賢太郎, 安田茂, 日本刀の微構造と残留応力の評価, 日本機械学会東海支部講演会, 2012年3月15~16日 愛知県名古屋市, 名古屋工業大学.
4. 原田健二, 吉田始, 坂井田喜久, 矢代茂樹 段付き中空軸への歯車成形に関する研究 日本機械学会東海学生会講演会, 2012年3月14日 愛知県名古屋市, 名古屋工業大学.
5. 吉田始, 坂井田喜久, 矢代茂樹, 渥美清, 沢木洋三, 二段充てん法によるマンドレルを用いないはすば歯車の成形, 日本機械学会沖縄講演会, 2011年11月19日 沖縄県那覇市, 琉球大学.
6. 吉田始, 坂井田喜久, 矢代茂樹, 中村保, 早川邦夫, 歯車の押出し成形に及ぼすマンドレル形状, 第62回塑性加工連合講演会, 2011年10月27-29日 愛知県豊橋市, ホテル日航豊橋.
7. 吉田始, 尾崎嘉郎, 坂井田喜久, 矢代茂樹, 島田和彦, 神尾恒春, 二段充てん法による内歯車のダイレス成形, 日本機械学会山梨講演会, 2011年10月22日 山梨県甲府市, 山梨大学.
8. 尾崎嘉郎, 吉田始, 坂井田喜久, 矢代茂樹, 高炭素鋼を用いた内歯車の押出し成形, 日本機械学会山形講演会, 2011年9月22日 山形県米沢市, 山形大学.
9. 吉田始, 坂井田喜久, 矢代茂樹, 磯谷章, 宮内太積, 神尾恒春, スプライン穴付き歯車の冷間成形II, 日本機械学会関東支部講演会, 2011年9月16日 栃木県宇都宮市, 帝京大学.
10. 吉田始, 坂井田喜久, 奥田康孝, 熊元隆弘, 矢代茂樹, 島田和彦, 二段充てん法による内歯車の成形, 日本機械学会北陸・信越支部総会講演会, 2011年3月4日 長野県上田市, 信州大学.
11. 尾崎嘉郎, 坂井田喜久, 吉田始, 矢代茂樹, 二段充てん法による内歯車の成形 日本機械学会東海学生会講演会, 2011年3月13日 愛知県豊橋市, 豊橋技術科学大学.
12. 吉田始, 坂井田喜久, 磯谷章, 島田和彦, 神尾恒春, スプライン穴付き歯車の冷間成形, 日本機械学会山梨講演会, 2010年

- 10月23日 山梨県甲府市, 山梨大学.
- 1 3. 吉田始, 坂井田喜久, 中村保, 早川邦夫, 河田一喜, 沢木洋三, 浸炭試料を用いた内歯車の押出し成形 II, 第 61 回塑性加工連合講演会, 2010 年 10 月 31-11 月 2 日 山形県米沢市, 山形大学
 - 1 4. 吉田始, 沢木洋三, 坂井田喜久, 渥美清, 館脇賢司, 二層試料を用いた二段充てん法による平歯車の成形, 日本機械学会東北支部講演会, 2010 年 9 月 24 日 秋田県秋田市, 秋田大学.
 - 1 5. 吉田始, 坂井田喜久, 磯谷章, 清水博之, 升本裕士, 星貴之, 小外径試料を用いた二段充てん法による平歯車の成形, 日本機械学会茨城講演会, 2010 年 8 月 27 日 茨城県水戸市, 茨城大学.
 - 1 6. 吉田始, 坂井田喜久, 中村保, 早川邦夫, 磯谷章, 神尾恒春, 塑性変形を利用した接合法の開発 II, 平成 22 年塑性加工春期講演会, 2010 年 5 月 28-30 日 東京都調布市, 電気通信大学.
 - 1 7. 青木賢崇, 吉田始, 坂井田喜久, 塑性流動による接合に関する研究, 日本機械学会東海学生会講演会, 2010 年 3 月 8 日 愛知県名古屋市, 名城大学.
 - 1 8. 吉田始, 坂井田喜久, 中村保, 早川邦夫, 沢木洋三, 河田一喜, 浸炭試料を用いた内歯車の冷間押出し成形に対するマンドレル形状, 第 60 回塑性加工連合講演会, 2009 年 10 月 31 日-11 月 2 日 長野県長野市, 信州大学.
 - 1 9. 吉田始, 沢木洋三, 坂井田喜久, 館脇賢司, 中村圭吾, 二層試料の外径絞り押出し成形に関する研究, 日本機械学会山梨講演会, 2009 年 10 月 24 日 山梨県甲府市, 山梨大学.
 - 2 0. 吉田始, 神尾恒春, 磯谷章, 松野貞雄, 坂井田喜久, 沢木洋三, 塑性変形を利用した異種金属の接合 IV, 日本機械学会山梨講演会, 2009 年 10 月 24 日 山梨県甲府市, 山梨大学.
 - 2 1. 吉田始, 坂井田喜久, 沢木洋三, 渥美清, 浸炭試料を用いた内歯車の冷間押出し成形, 日本機械学会東北支部講演会, 2009 年 9 月 26 日 福島県福島市, 福島大学.
 - 2 2. 吉田始, 沢木洋三, 坂井田喜久, 磯谷章, 升本裕士, 試料内径の拡張押出しによる歯車成形, 日本機械学会関東支部講演会, 2009 年 8 月 25 日 茨城県つくば市, 筑波大学.
 - 2 3. 吉田始, 坂井田喜久, 中村保, 早川邦夫, 神尾恒春, 沢木洋三, 塑性変形を利用した接合法の開発, 平成 21 年度塑性加工春期講演会, 2009 年 5 月 29-31 日 京都府京都市, 京都大学.
 - 2 4. 吉田始, 坂井田喜久, 中村保, 早川邦夫, 高橋慶, 内径拡張後絞る押出しによる

- 平歯車の冷間押出し成形, 平成 21 年度塑性加工春期講演会, 2009 年 5 月 29-31 日 京都府京都市, 京都大学.
- 2 5. 吉田始, 坂井田喜久, 中村保, 早川邦夫, 他 2 名, 試料内径拡張によるはずば歯車の成形, 第 59 回塑性加工連合講演会, 2008 年 11 月 7-9 日 広島県東広島市, 広島大学.
 - 2 6. 吉田始, 沢木洋三, 坂井田喜久, 神尾恒春, 磯谷章, 塑性変形を利用した異種金属の接合 III, 日本機械学会山梨講演会, 2008 年 10 月 25 日 山梨県甲府市, 山梨大学.
 - 2 7. 吉田始, 沢木洋三, 坂井田喜久, 中村保, 石橋格, 関澤雅洋, 環境対応型潤滑剤による内歯車の冷間押出し成形, 日本機械学会山梨講演会, 2008 年 10 月 25 日 山梨県甲府市, 山梨大学.
 - 2 8. 吉田始, 沢木洋三, 坂井田喜久, 磯谷章, 歯車の冷間押出しに及ぼすダイス形状, 日本機械学会関東支部講演会, 2008 年 9 月 19 日 栃木県小山市, 小山工業高等専門学校.
 - 2 9. 吉田始, 沢木洋三, 坂井田喜久, 早川邦夫, 高橋慶, 冷間押出しによる内歯車の成形 II, 平成 20 年塑性加工春期講演会, 2008 年 5 月 23-25 日 千葉県習志野市, 日本大学.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

科研費申請時に構想を出願した.

名称: 歯車成形用金型および同歯車成形用金型を備えた押出し成形装置

発明者: 沢木洋三, 吉田始

権利者: 静岡大学

種類: 特許

番号: 特開 2008-221270

出願年月日: 2007.10.24

国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 始 (YOSHIDA HAJIME)

静岡大学・工学部・助教

研究者番号: 90283340