

精密部品の高材料歩留りタブレット鍛造法の開発

牟禮雄二* , 淵脇健二**

Development of High-Material-Usage Tablet Forging Method for Precision Parts

Yuji MURE and Kenji FUCHIWAKI

Fine blanking is well known as a method for obtaining a fine-cut edge. However, Fine blanking in general is disadvantageous for good usage of precious steel material because of the unavoidable large web width. Accordingly, to manufacture precision plate-like parts with high material usage, firstly, a strip material having a thickness corresponding to the thickness of the finished product was cut from the coil material. Then, forming was carried out from the side of the plate surface with a punch and a knock-out punch in which the shape close to the final product was divided into approximately half. Thereafter, the forged product, which include the defect from cutting, was blanked into the final product shape while being restrained by part of the side wall of the die. In this report, the problems that have become apparent in the tablet forging process and the results of solving the problems using numerical analysis are described.

Keyword : Tablet forging, Fine blanking, Numerical analysis, Sheet metal

1. 緒 言

金属板材を精密に打抜くファインブランキング（以下、FB）は、側面に摺動部や嵌合部を有する部品の製造技術として自動車部品など広範に利用されている。FBの概要を図1に示す。コイル板材（板厚1～14mm）を素材とする同工法は、ダイス刃先に微小Rを付け、パンチとダイス間のクリアランスを可能な限り小さくし、材料の流動を拘束するV突起を有する「板押さえ」や「逆押さえ」で構成される金型を用いて、静水圧により材料延性を向上させて割れの発生を防ぎ、破断面の無い非常に平滑な断面を得る加工法であり、後加工が不要になることが多い¹⁾。

ところで、製造工程での省資源策として材料歩留まりを考慮した場合、FBにおける栈幅（打抜いた部品間の余白と打抜いた部品と板幅端間の余白）は、一般的に材料送り方向に対して板厚の1.5倍以上、板幅方向に対して板厚の1.0倍以上を必要とする。もし、栈幅を確保できない場合、せん断面に破断や割れなどの不具合が発生する。そのため、高品位のせん断面を得るためには一定の栈幅が必要であることから、材料廃棄率の低減には限界があり、部品によっては廃棄率が70%を超えるなど材料歩留まりの向上が長年の課題²⁾であった。

そこで筆者らは、図2に示す様にコイル板材を切断した短冊状（以下、タブレット）素材を用い、FBと比較して同等以上の品質が得られ、材料廃棄量を革新的に低減できる

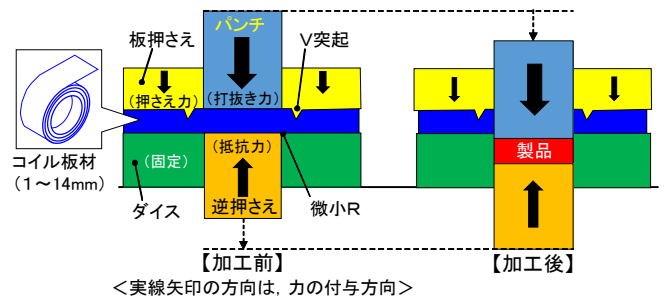


図1 ファインブランキングの概要

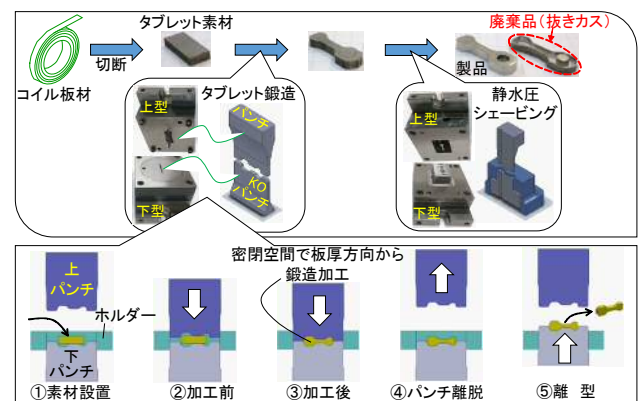


図2 タブレット鍛造法

独自のタブレット鍛造法³⁾⁴⁾を開発した。すなわち、製品の板厚に対応した厚さを有するタブレット素材をコイル状板材から直接切断した。次に、タブレット素材を上下パンチ間に設置して密閉空間で板厚方向から鍛造加工を施して最終完成品に近い形状へと成形した後、上パンチが離脱して成形品を下パンチから離型する。最後に、素材の切断に

*生産技術部

** (株) 秦野精密

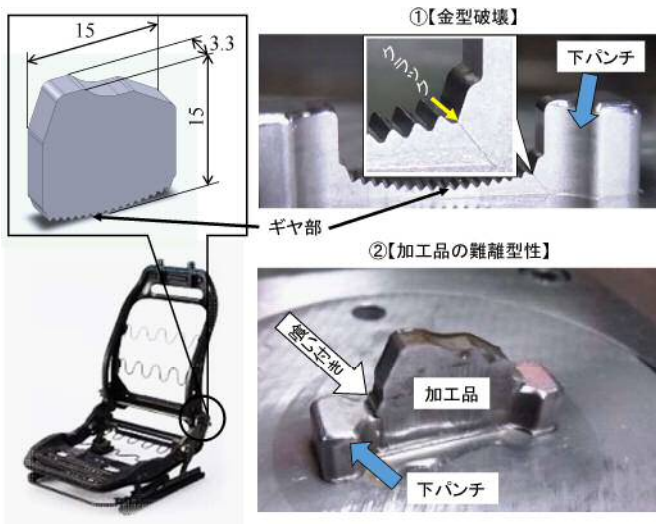


図3 解析対象と課題状況

由来する欠陥を除去した上で、必要な輪郭形状を得られるように成形品側面を拘束して、完成品形状へと静水圧を付加してシェーピング加工する製造工程である。

本報では、タブレット鍛造の実用化に当たり、顕在化した課題に対して材料の塑性変形解析（以下、材料解析）および金型の弾性変形解析（以下、金型解析）により成形状態を把握し、それに基づいて課題解決に至った結果について報告する。

2. タブレット鍛造の課題と対策案

2.1 解析対象と課題状況

解析対象と課題状況を図3に示す。対象部品は、非対称でギヤ部を有する自動車用の手動式リクライニングシート部品（板厚3.3mm）である。当該部品におけるタブレット鍛造時の課題は、下パンチに形成されたギヤの付け根付近からの応力集中による金型破壊と加工品の金型への喰い付きによる難離型性である。以上、2つの課題について対策案を考案し、その有効性を数値解析により明らかにした。

解析モデルを図4に示す。鍛造金型は、3次元モデルとして定義し、材料解析においては、素材（材質：SCM435）を弾塑性体、その他を剛体と仮定した。また、摩擦係数0.1、加圧速度20mm/s、素材温度20℃とした。金型解析においては、上下パンチ（材質：SKD11）、ホルダー（材質：S45C）、ケース（材質：S45C）を弾性体と仮定した。さらに、材料解析で得られた加工品の内力を金型への反力として転写させて金型内の構造解析を実施した。なお、ホルダーとケース間には、ホルダー直径の0.5%での締めり嵌めとし、タブレット素材は、一辺15mmの正方形である。さらに、プレスのスライド下死点において密閉状態になるのを回避するために上パンチと下パンチ間に0.5mmの空間を設けた。解析には商用ソフトのSimufact.Formingを使用した。

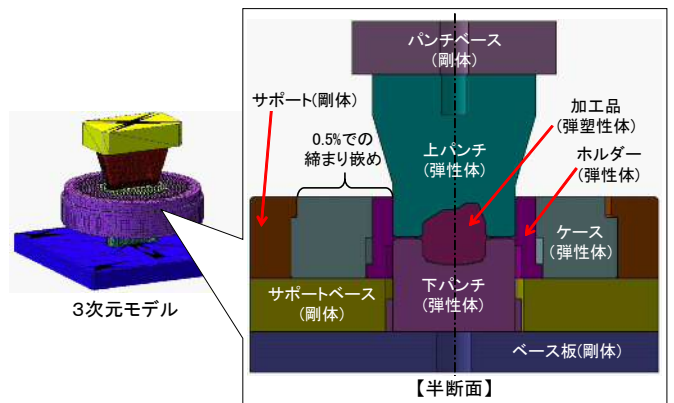


図4 タブレット鍛造金型の解析モデル

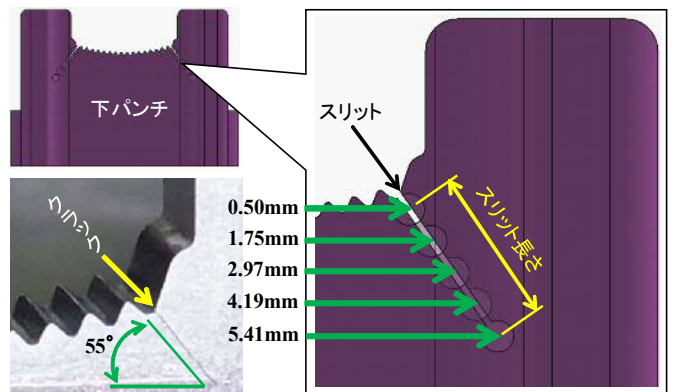


図5 金型破壊の対策案1（スリット）

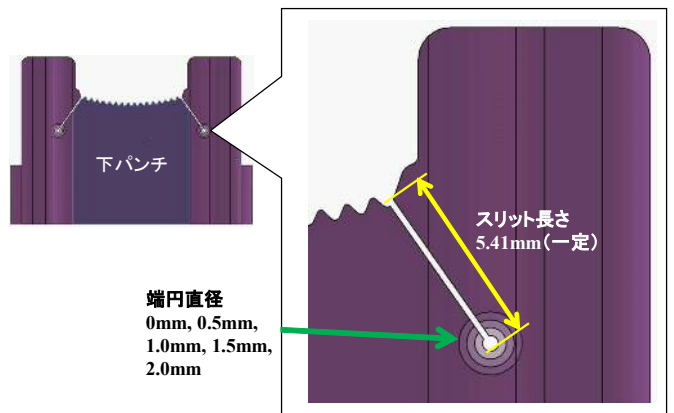


図6 金型破壊の対策案2（端円）

2.2 金型破壊の対策案と解析条件

金型破壊への対策案として3案を考案した。1つ目は、破壊が不可避と想定し、予め破壊を模したスリットを下パンチに形成することとした。スリット形状と解析条件を図5に示す。スリットの角度は、実際のクラックと同様の55°とし、スリット幅0.2mmで、スリット長さはスリットなしを含めて6条件とした。

2つ目は、スリット終端における端円の形成である。すなわち、端円を形成することでクラックの伸展を抑制し、バネ効果で応力分散が図れると考えた。端円の形状と解析条件を図6に示す。スリット長さは5.41mm一定とし、端円なしを含めて端円直径は5条件とした。

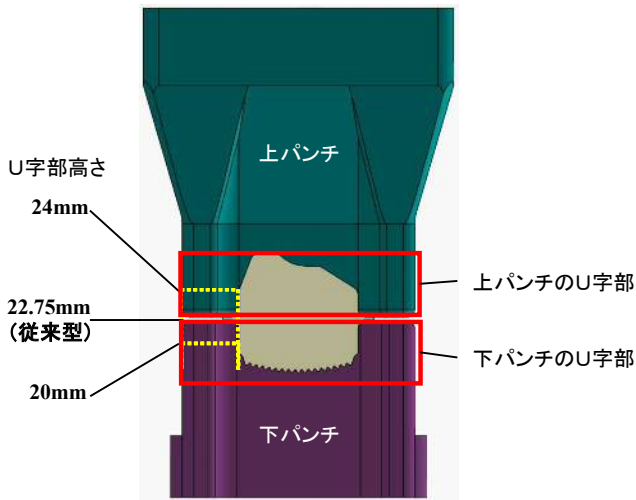


図7 金型破壊の対策案3 (U字部)

3つ目は、パンチのU字部である。U字部の形状と解析条件を図7に示す。U字部の高さを変化することで曲げモーメントが変化し、金型破壊部付近の応力増減に関連すると考えた。U字部高さは従来型を含めて3条件とした。なお、下パンチのU字部高さを増減させた分は、上パンチの高さもそれに対応して増減することになる。

2.3 金型破壊対策の解析結果

2.3.1 材料解析

材料解析の結果を図8に示す。図は、タブレット鍛造が終了した後の除荷状態である。外形輪郭からギヤ部を含めて上下パンチに適切に充滿しており、良好な成形状態であることが確認できた。上パンチと下パンチ間のクリアランス部分への流動を示す2箇所の凸部が特徴的である。加工品の下パンチと接触していない領域のX方向の残留応力が引張りモードであるのに対して、加工品が下パンチのU字部と接触している領域は、X方向の残留応力が圧縮モードである。このことから下パンチのU字部に成形品が挟まれることが難離型性の要因であることが示唆された。

2.3.2 最大主応力に及ぼすスリット長さの影響

スリット長さと最大主応力との関係を図9に示す。スリットを形成しない条件において、破壊起点部に10041MPaの過大な引張り応力が発生しており、これが破壊の要因であると特定できた。スリット長さが増加すると最大主応力は著しく低下し、スリット長さが3mm以上ではパンチ材料の破壊限界を下回り、ほぼ平衡状態になる。スリット長さの増加は、最大主応力の低減効果に著しく寄与することが分かった。しかし、スリット長さにも限界があり、下パンチの構造上から5.0mmが限界である。

2.3.3 最大主応力に及ぼす端円直径の影響

端円直径と最大主応力との関係を図10に示す。端円直径の増加に伴い最大主応力の低下は顕著になることが分かった。端円直径0.5mm以上ではパンチ材料の破壊限界を下回

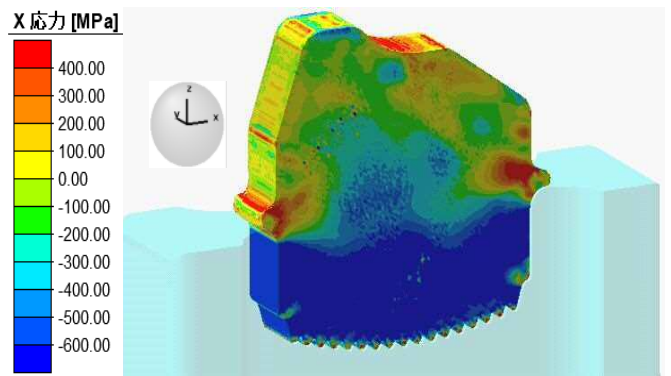


図8 材料解析の結果

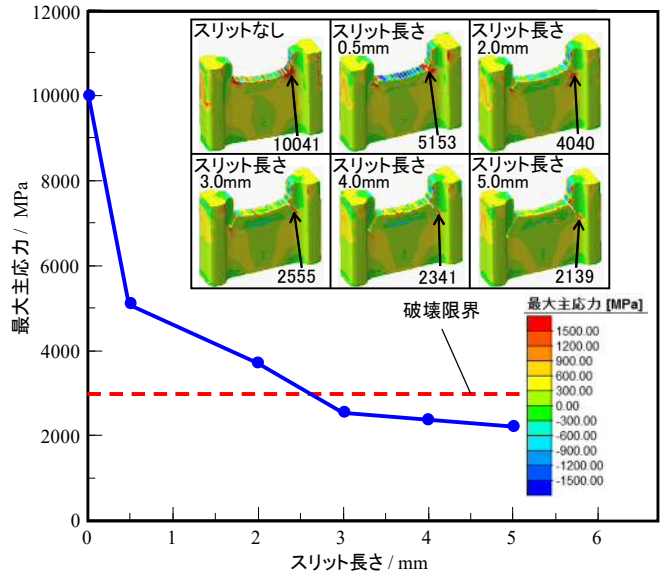


図9 最大主応力に及ぼすスリット長さの影響

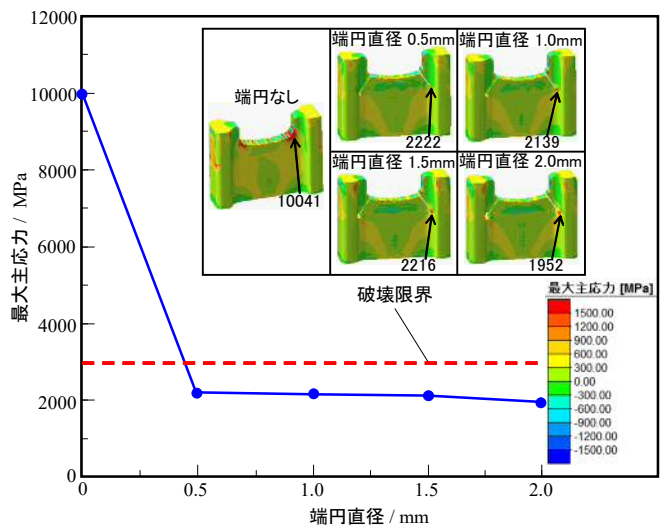


図10 最大主応力に及ぼす端円直径の影響

り、平衡状態になることが分かった。

2.3.4 最大主応力に及ぼすU字部高さの影響

U字部高さを変化させた時の上下パンチに発生する最大主応力分布を図11に示す。応力集中が著しい3箇所について、図中に記載してある数値はそれぞれの箇所での応力の最大値であり、その場所は矢印先端部である。U字部高さ

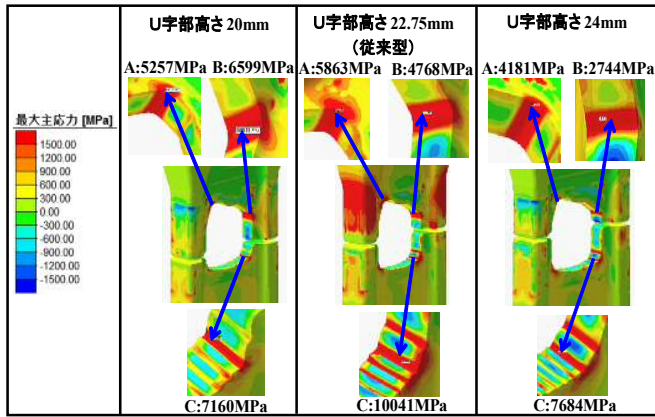


図11 最大主応力に及ぼすU字部高さの影響

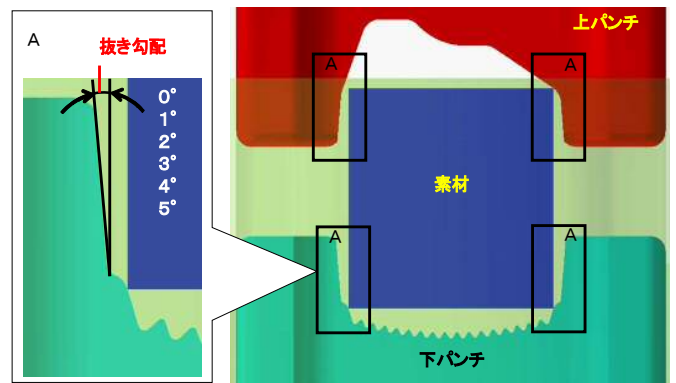


図13 抜き勾配の位置と解析条件

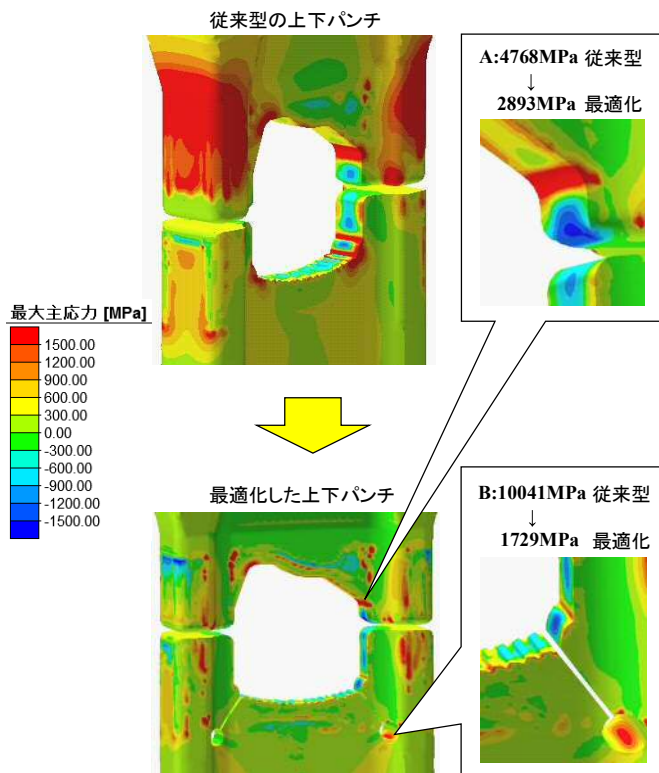


図12 応力低減効果

20mmでは、従来型と比較してB部での応力値が増加している。これは、上パンチのU字部高さが高くなったことによる曲げモーメント増加の影響と考える。A、C部では応力が低減している。U字部高さ24mmでは、従来型と比較してA、B、C全ての部位で応力低減が認められた。しかし、U字部高さ20mmと比較して破壊起点の応力（C部）は増加している。これは曲げモーメント増加の影響と言える。

2. 3. 5 金型破壊対策を統合した応力低減効果

金型破壊の3つの対策案による解析結果において、最大主応力が従来型と比較して低減した条件（スリット長さ：5.0mm，端円直径：2.0mm，U字部高さ：24mm）を最適条件として金型解析を再度実施した。解析結果を図12に示す。従来型と最適案との比較で、A部においては最大主応力が40%低減し、B部においては83%低減した。

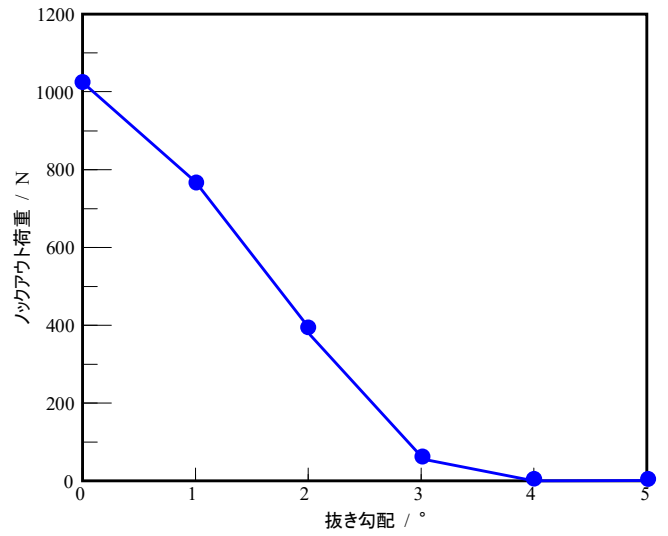


図14 ノックアウト荷重に及ぼす抜き勾配の影響

2. 4 難離型性の対策案と解析条件

通常、冷間における鍛造では、加工品に抜き勾配を付けず、プレスに付帯するノックアウトピンとノックアウト装置により強制的に金型から排出している。しかし、タブレット鍛造では、下パンチそのものがノックアウトピンの役割を果たすため、ノックアウト時には加工品が容易に下パンチから離型できる必要がある。そこで、難離型性への対策案として上下パンチのU字部で、加工品と接する側に抜き勾配を付ける案を検討した。抜き勾配を付けることで目標形状とは異なることになるが、図2に示す様に、タブレット鍛造後のシェービング加工で目標形状が得られるため問題はない。抜き勾配の位置と解析条件を図13に示す。抜き勾配は、図中のA部に付け、抜き勾配なしを含めて6条件とした。解析では、下パンチから加工品を引き剥がすモデル化を行い、その時のノックアウト荷重を計算し、抜き勾配の影響を評価した。

2. 5 難離型性対策の解析結果

ノックアウト荷重に及ぼす抜き勾配の影響を図14に示す。抜き勾配なしの条件でノックアウト荷重が約1000Nであるのに対し、3°以上になると数十N以下になり、容易に離型できることが分かった。



図15 試作パンチと試作結果

3. 実機による検証試作

解析結果に基づき、タブレット鍛造型およびシェーピング型を設計・製造し、検証試作を実施した。使用したそれぞれの金型と試作結果を図15に示す。タブレット鍛造工程およびシェーピング工程共に非常に良好な成形品が得られた。加工荷重はタブレット鍛造工程が64kNであり、シェーピング工程が71kNであった。また、金型破壊と離型性についても問題がなかった。さらに、FBと比較して材料費を81%低減することができた。

タブレット鍛造による副次的効果として鍛錬効果による加工品の高強度化がある。高強度化の程度を評価するため完成品のギヤ破壊試験を実施した。ギヤ破壊試験に用いた治具を図16に示す。破壊試験治具は、ホルダー、ベース、カバーおよびギヤ付き棒で構成されている。破壊試験は、最初にホルダーとベースで完成品を拘束し、完成品のギヤに相当する部分にギヤ付き棒を噛み合わせてカバーを取付け、最大荷重50kNの材料試験機に設置した。次に、材料試験機によりギヤ付き棒を加圧し、強制的にギヤ部を破壊させた。この時の加圧力を破壊荷重とした。比較のためタブレット鍛造の素材として用いた板材からワイヤーカットで作製した加工品を用意し、破壊試験に供した。破壊試験の結果を図17に示す。最高破壊荷重は約500kNであり、ワイヤーカット品と比較して約2.5倍の高強度化が図られた。

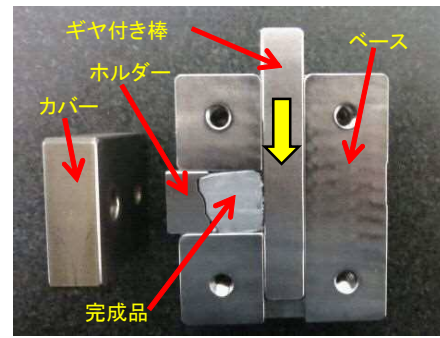


図16 ギヤ破壊試験治具

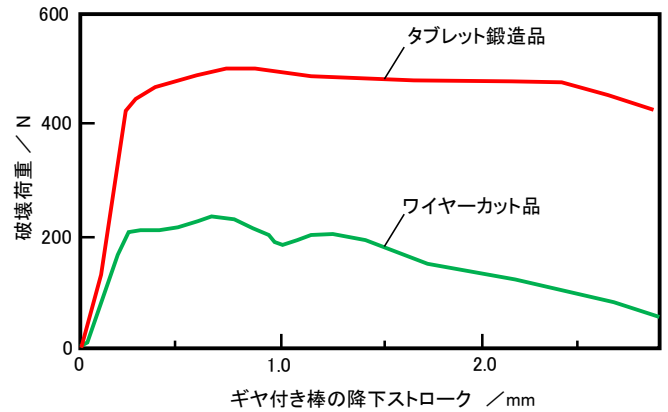


図17 ギヤ破壊試験結果

4. 結 言

タブレット鍛造法の課題であった金型破壊と難離型性の対策案について有用な知見を得ることができた。FBと比較して材料費を81%低減でき、鍛錬効果による2.5倍の高強度化も確認できた。

参 考 文 献

- 1) T. Nakagawa, K. Suzuki, M. Kinoshita: J. Jpn. Soc. Tech. Plast, 12(129), 742-751 (1971)
- 2) K. Watanabe: Sokeizai, 51(3), 21-27 (2010)
- 3) K. Fuchiwaki, Y. Mure, K. Yoshida: Journal of the JSTP, 694, 215-220 (2018)
- 4) 牟禮雄二, 淵脇健二: 特許 第5909725号 (2016)

