

解 説

小特集号 板鍛造とその周辺技術の最前線



E. MURAI

K. TAKESHITA

板鍛造によるボス付きカップ成形法の開発 Development of Double Cup Forming in Plate Forging

村井 映介* 竹下 和也**

1. はじめに

自動車産業では、軽量化部品を高精度で生産する技術が求められている。板鍛造は板成形の絞りや曲げと鍛造加工の据込みや増肉などを組み合わせた加工法である。この加工法は複雑な形状の軽量化部品を高精度に製造するために用いられている^{1)~6)}。

板鍛造の初期段階では板成形で用いる絞りやしごきを用いて、製品の大まかな形状を成形し、最終段階では冷間鍛造で用いられる据込み加工などを用い、寸法精度の高い部分の成形が行われる。板鍛造では成形荷重が高くなるため、冷間鍛造で用いられる据込みや押出しなどの成形だけでは比較的薄い部品を成形することは困難である。その他、板鍛造では工程数の削減、加圧面積の大きい部品の成形荷重の低減、素材厚さからの増肉が主な課題である。

厚板素材からカップを絞る場合、カップ角部からの破断や薄肉化を防ぐために工程の増加は避けられず、大型設備が必要になるなどのデメリットが大きい。これらの問題に対して、スピニング加工⁷⁾やインクリメンタルフォーミングが用いられ、熱間鍛造とスピニングにより、ドラム・フロント・クラッチなどを成形した事例が紹介されている^{1), 8)}。

ここでは、これまで熱間鍛造後の総削りやカップと円筒部品の接合により製造されていた部品の歩留まり向上と接合工程の省略を目指して当社が開発に取り組んだボス部とカップ部の一体化成形法について紹介するとともに、複動成形を用いた工程短縮事例についても紹介する。

2. ボス付きカップについて

ボス付きカップ部品の製造方法は当初、図1に示すような熱間鍛造からの総削りによって製造されていたが、切削工程には長時間を要し、また歩留りも悪かった。そのため、図2に示すようなボス部とカップ部を別々に成形した後にリベットや溶接等で接合する方法が用いられていた。接合

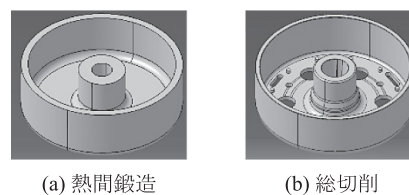


図1 熱間鍛造によるボス付きカップ部品の製造方法

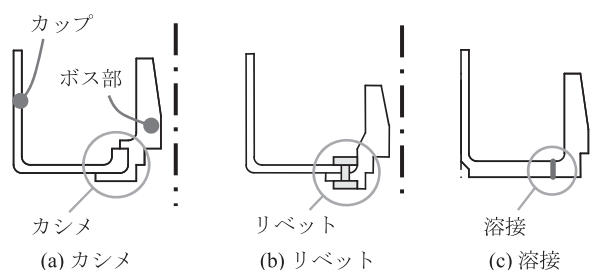


図2 ボス部とカップの接合工程

を用いることで切削加工の時間短縮と歩留り向上を達成することができた。しかし、この工法に対しても接合工程の省略などによる生産時間の短縮と歩留りの向上が求められている。

3. 板鍛造によるボスとカップの一体化

3.1 一体化を実現した板鍛造工程と適用事例

工法開発の対象としたボス付きカップ部品を図3に示す。2章で述べた通り、従来はリベットによって、ボス部とカップ部を接合していた部品である。この部品の接合工程省略を目的にボス部とカップ部の一体化成形を試みた。

図4は一体化を実現したボス付きカップの板鍛造工程である。図5に鍛造品の写真を示す。この成形では厚板素材を用いるため、ボス部の体積の確保が大きな課題である。まず、素材から第1工程で深絞りによってカップを成形し、第3工程で逆絞りによってカップのボス部の体積を確保し

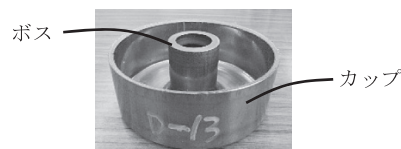


図3 ボス付きカップ部品

原稿受付 2021年10月19日

* (株)ニチダイ 宇治田原工場

〒610-0201 京都府綴喜郡宇治田原町禅定寺塩谷14

E-mail: murai@nichidai.co.jp

** NICHIDAI (THAILAND) LTD.

700/882 Moo 5, Tb. Nhongkakha Ap. Phanthong Chonburi 20160 Thailand

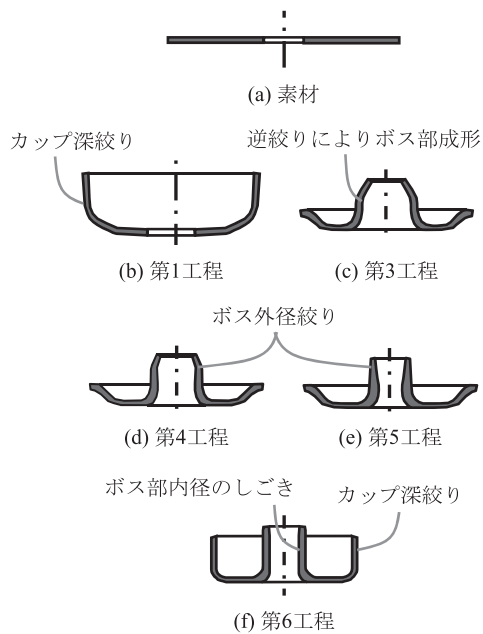


図4 一体化を実現した板鍛造工程 (すべて単動)

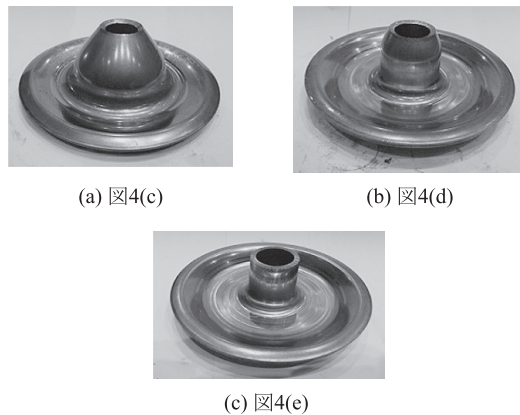


図5 鍛造品

た。その後、第4~5工程でボス部の高さを確保しながら、ボスの外径を徐々に絞っていった。ボス部の絞り成形後、第6工程で深絞りによって外側のカップ成形とボス部内径部のしごき成形を行った。

図6はこの工法を応用して成形した鍛造品である。図5(a)は下ボス付きのカップである。ボス部を絞った後にボス部先端を押して据込むことによってボス部を増肉させ、下側のボスとなる体積を確保した。その後、複動成形を用いてカップ底の据込み、外側カップの絞り成形を行った後にカウンタパンチによって下側のボスを押し出している。図6(b)はボス内面にテーパが付与された部品である。ボ

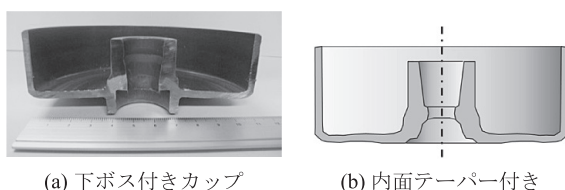


図6 一体化を実現した板鍛造工程の応用例

ス部を絞った後に外側カップの絞り成形を行い、最終工程で外側カップとボスの成形を行っている。

3.2 機械的性質

板鍛造では加工硬化による硬度上昇で熱処理を省略した事例が報告されている⁴⁾。ここでも、成形した鍛造品については機械的性質を確認するために硬度と引張強度を調べた。図7はS35C相当材の素材と鍛造品の硬度の比較である。素材硬度約150HVに対して鍛造品は約220~285HVの硬度を得た。ボス部根元(測定位置8)は約285HVで最も硬度が高く、カップ角部(測定位置11)は約220HVで最も低かった。図8に鍛造品のメタルフローを示すが、ボス部根元は絞り成形によってカップ底を圧縮している。このことが硬度の上昇につながったと考えられる。カップ角部については基本的に曲げ変形のみであることがその他の部分に比べて硬度が上昇していない要因と考えられる。例えば側壁部は絞り成形としごき成形を行っており、ボス部については絞り成形と据込み成形を行っている。

図9はS25C相当材で成形した鍛造品のボス部、カップ底、カップ側壁より試験片を切り出して引張試験を行った結果である。側壁の引張強さは約740MPa、ボス部は約680MPa、底部は約620MPaであった。側壁部は絞りとし

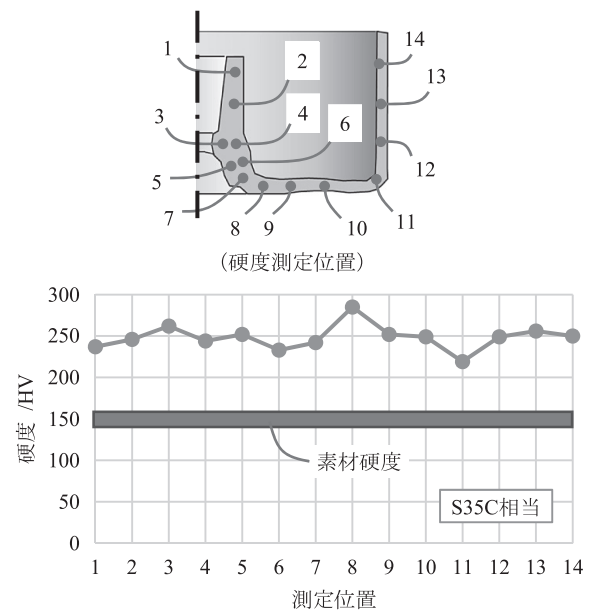


図7 硬度の変化

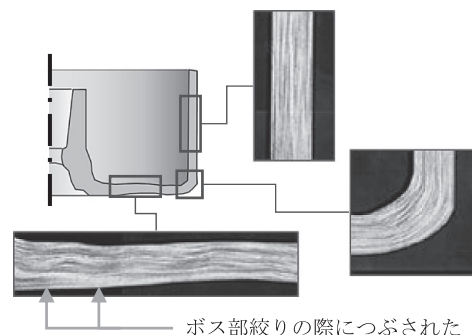


図8 鍛造品のメタルフロー

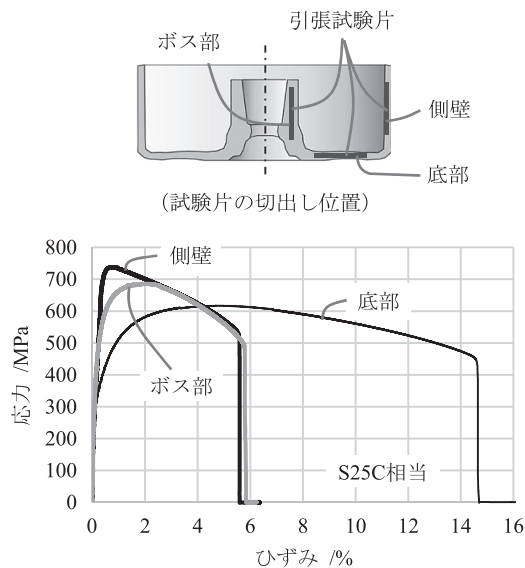


図9 ボス付きカップ各部の応力-ひずみ線図

ごき成形による加工硬化によって強度が得られた。ボス部も絞りとその後の成形による加工硬化によって強度が得られた。

図10は各部の0.2%耐力を硬さとの関係で整理をしたものである。硬度の上昇とともに耐力も上昇している。図11はひずみとビッカース硬度の関係を示している。この図の硬度は鍛造品を測定した結果で、ひずみはシミュレーションによって得た値である。これらの結果から成形によってひずみを与えることが鍛造品の強度上昇に影響することがわかり、条件次第で後工程の熱処理省略が可能である。しかし、図11からもわかるが、ひずみが1以上となると硬度の上昇は鈍くなるため、得られる硬度にも限界がある。

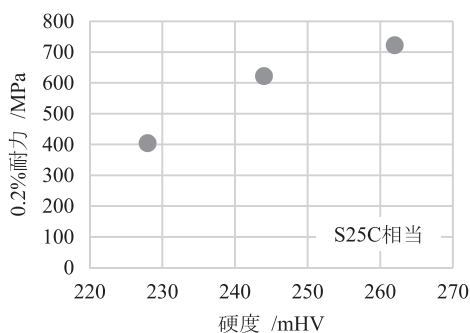


図10 硬度とひずみの関係

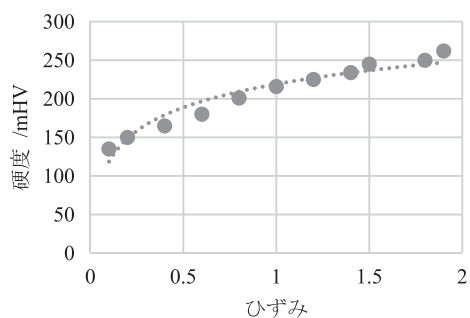


図11 ひずみと硬度の関係

4. 工程短縮

3章では、ボス部とカップ部の一体化成形と鍛造品の機械性質について示した。一体化により接合工程は省略できたもののボス部の成形に絞りをを用いたため6工程となり、工程数が非常に多くなった。生産コスト削減のためにはさらなる工程短縮が必要である。ここでは工程短縮について示す。

4.1 絞り率の変更による工程短縮と不具合

図4に示した工程ではボス部の絞りに工程を要している。ボス部絞り工程の絞り率の変更などが工程短縮のための方法として考えられるが、この成形では図12に示すようにボス部根元に巻込みや割れが発生する。その他にいろいろと方法があるが、ボス高さの不足や外側カップ角部の割れ(図13)などいろいろな不具合が発生する。

材料によっては図14のようなカップ底に割れが発生する。材料Aでは圧延方向に対して45°方向に割れが発生した。これは材料の異方性の影響と考えられたため、異方性のない材料Bを用いた結果、材料Aのような割れでは

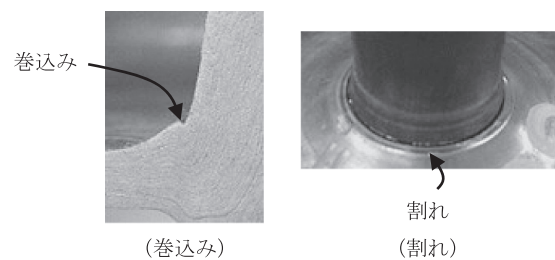


図12 ボス部根元の不具合



図13 外側カップ角部の割れ

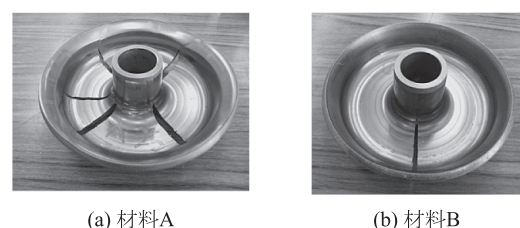


図14 カップ底の割れ

なく発生確率も減少したが、割れの解消に至らなかった。

4. 2 6工程から4工程への工程短縮

4. 1節で示したように図4に示す工程を基本とした変更は不具合が発生する。これらの問題に対して、板材成形において絞り時の成形性を向上させる方法として端部加圧による方法⁹⁾や逆再絞りと対向液圧を組み合わせた成形法¹⁰⁾が提案されている。これらの方法は摩擦低減効果などによって破断限界の大幅な向上が期待できるが、油圧装置などが必要になる。これらの絞り成形以外で厚板に対しては押出しパーリング¹¹⁾、据込みパーリング¹²⁾による方法が提案されているが、ボスの径やボス高さに制約がある。

そこで、図4やこれまでの報告以外の工法を検討した。

図15はその短縮工程である。図4の工法はカップ成形後、逆絞りによってボス部の体積を確保し、ボス部となる部分の外径を絞った後に、再び外側カップを成形した。ここでは工程を短縮するために第1工程で底R部の寸法を大きくとったカップを深絞りによって成形し、第2工程と第3工程でそのR部の体積を中心に集めてボス部の体積を確保した。最後の第4工程ではボス外径部の絞りりと内面のしごき、外径カップの仕上げ成形を行った。第1～2工程は単動成形、第3～4工程は上側2軸と下側1軸の計3軸の複動成形を用いた。

4. 3 4工程から2工程への工程短縮

4. 2節では、1工程のカップ底Rの拡大と第3～4工程での複動成形によって、6工程から4工程に工程短縮することができた。ここでは複動成形をさらに活用して、さらなる工程短縮を試みた。図16はその短縮工程である。成形中のボス部の破断を防ぐために、成形途中で金型の位置関係を調整することで、ボス付きカップを第1工程で成形することができた。最終の第2工程ではカップの仕上げ成形とボス部内径のしごき成形のみとすることができた。

図15に示した工程は第1、2工程ともに複動成形である

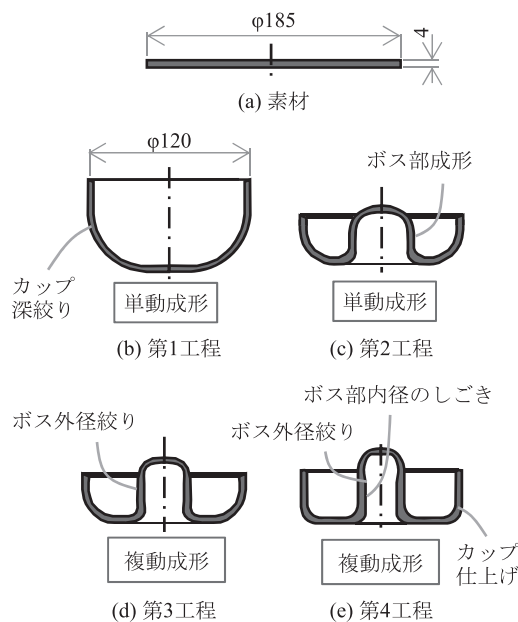


図15 6工程から4工程への工程短縮

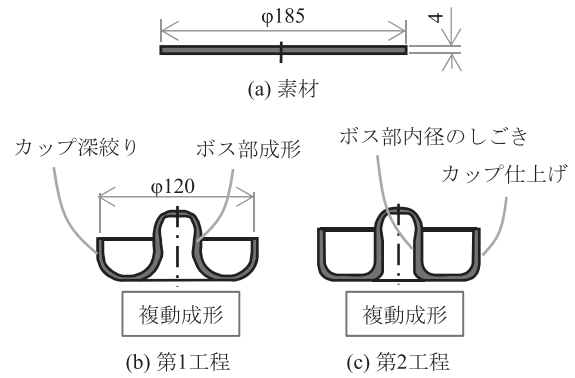


図16 4工程から2工程への工程短縮

ため、図17に示す複動プレスが必要である。このプレスは弊社所有の11軸を有する油圧式の複動プレスである。このプレスの上側2軸と下側1軸の計3軸を使用している。図18はプレス機内部の写真である。図18(b)はボス部の成形に使用したカウンターパンチである。図19に各工程の



図17 油圧式複動プレス (弊社所有)

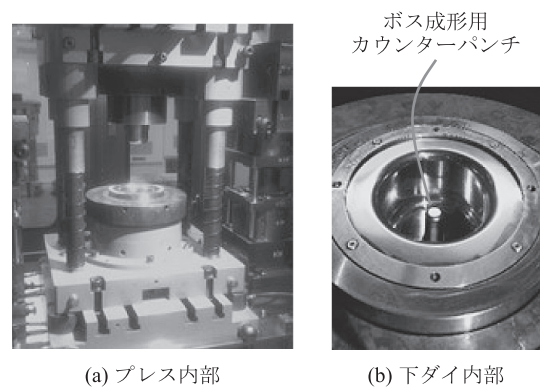


図18 プレス内部

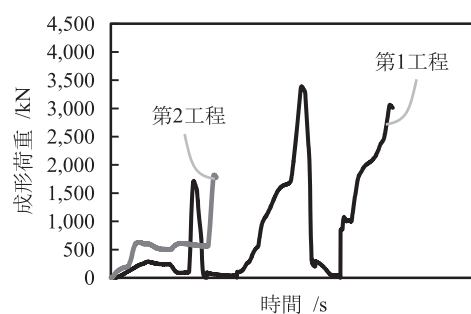


図19 成形荷重

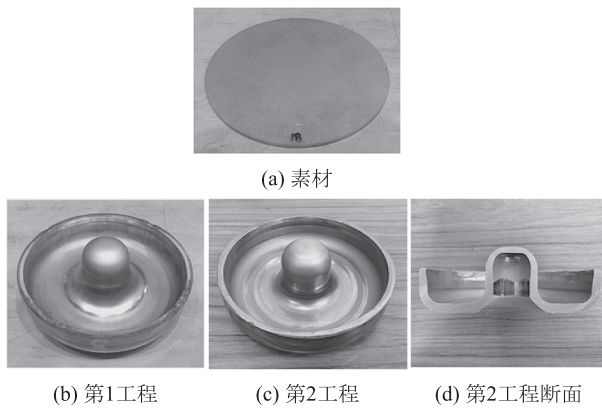


図 20 2工程成形鍛造品

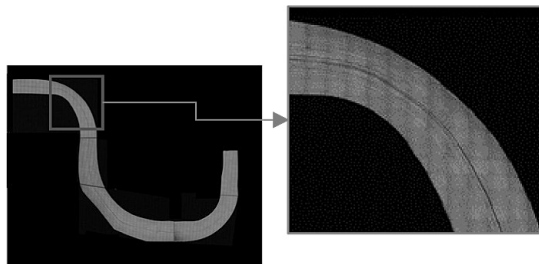


図 21 1工程成形後のメタルフロー

成形荷重を示す。1工程の成形荷重は3軸合計で約3,500 kNである。

図 20 は成形した鍛造品の写真である。材料は直径 $\phi 185$ 、板厚 4 mm の熱間圧延鋼板 SPHC を用いた。潤滑材は油系の潤滑剤を用い、成形前に金型と素材に塗布した。図 20 (d)には2工程成形後の断面を示している。図 21 は1工程のメタルフローを観察した結果である。この成形では図 18 に示したカウンターパンチによりボス部の成形を行っている。このような絞り成形ではボス部先端の破断が懸念されたが、くびれの発生は認められなかった。また、巻込みなどの欠陥も発生していない。

5. おわりに

当社が開発に取り組んだ板鍛造によるボス付きカップ成形法についてその概要を紹介した。この開発により熱間鍛造後の総削りやカップと円筒部品の接合により製造されていた部品の歩留り向上と接合工程を省略することができた。本稿では複動成形を用いた工程短縮についても紹介したが、これまでの開発事例にも示されているとおり、板鍛造では複動成形技術が非常に重要である。金型の動きを工夫することで、摩擦の低減など効果が期待でき、成形荷重低減や成形性の向上などの効果が期待できる。

板鍛造に関する研究・開発は1990年代より数多く行われ、その成果が数多く報告されている^{13)~22)}。本稿で示した工法を含め、当社が行った板鍛造工法の開発に非常に有効な情報となった。近年においても日本のみならず世界各国で

研究が行われ、貴重な成果が報告されている^{23)~29)}。製品成形に向けた工法の開発にはこれら成果が非常に重要である。今後もこれらの研究・開発の進展に注目していきたい。

参 考 文 献

- 1) 前田昭宏・荒木邦彦：塑性と加工, **39**-445 (1998), 106-110.
- 2) 中野隆志：塑性と加工, **42**-484 (2001), 388-392.
- 3) 鈴木敬：塑性と加工, **51**-594 (2010), 633-637.
- 4) 西野創一朗・大屋邦雄・湯澤幸雄：塑性と加工, **51**-594 (2010), 642-646.
- 5) 石原貞男・峯功一・鈴木敬：塑性と加工, **44**-507 (2003), 409-413.
- 6) 横井道治：塑性と加工, **51**-594 (2010), 638-641.
- 7) 西山三郎：塑性と加工, **43**-502 (2002), 1046-1050.
- 8) 岡嶋一晃：日本塑性加工学会鍛造分科会第31回実務講座テキスト, (2004), 33-40.
- 9) 朝倉健二・小林信雄・花本孝雄・高津正秀：塑性と加工, **24**-272 (1983), 927-932.
- 10) 中村和彦・中川威雄：塑性と加工, **26**-290 (1985), 284-290.
- 11) 平澤勝芳・堂田邦明・王志剛・横山尚来：日本機械学会論文集 C 編, **68**-671 (2002), 2181-2187.
- 12) 平澤勝芳・堂田邦明・王志剛・横山尚来・小林義邦：日本機械学会論文集 C 編, **69**-677 (2003), 264-269.
- 13) 長井美憲・内田幸彦・星野友紀：塑性と加工, **33**-383 (1992), 1380-1385.
- 14) 金武直幸・稲垣淳二：塑性と加工, **35**-405 (1994), 1195-1200.
- 15) 金武直幸・朝倉英明：塑性と加工, **35**-407 (1994), 1414-1419.
- 16) 金武直幸・朝倉英明：塑性と加工, **35**-407 (1994), 1420-1425.
- 17) 長井美憲・内田幸彦・庄司直人・椎名宏行：塑性と加工, **37**-426 (1996), 736-742.
- 18) 加藤浩三・近藤一義・加藤貴裕：日本機械学会論文集 C 編, **64**-626 (1998), 4034-4038.
- 19) 三浦規彦・小野宗憲：平成13年度塑性加工春季講演会講演論文集, (2001), 39-40.
- 20) 三浦規彦・小野宗憲・松居正夫・中島浩衛：平成13年度塑性加工春季講演会講演論文集, (2001), 41-42.
- 21) 王志剛・森下圭一・安藤透：塑性と加工, **53**-616 (2012), 429-433.
- 22) 王志剛・柄澤正直・加藤渉：塑性と加工, **53**-616 (2012), 434-438.
- 23) Merklein, M. : Proc. 50th ICFG, (2017), 66-76.
- 24) Zhuang, X., Zhu, S., Sun, X. and Zhao, Z. : Proc. 50th ICFG, (2017), 92-102.
- 25) Zhu, S., Zhuang, X., Zhu, Y. and Zhao, Z. : Proc. 51st ICFG, (2018), 87-93.
- 26) Pilz, F. and Merklein, M. : Proc. 51st ICFG, (2018), 221-232.
- 27) 山形光晴・山本修治・和田康裕：2019年度塑性加工春季講演会講演論文集, (2019), 91-92.
- 28) Vogel, M., Schulte, R., Kaya, O. and Merklein, M. : Proc. 13th ICTP, (2021), 563-576.
- 29) Hakoyama, T., Wang, Z. and Yoshikawa, Y. : Proc. 54th ICFG, (2021), 93-100.