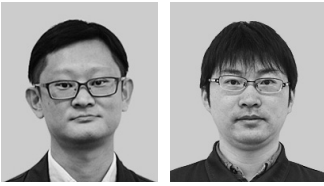


解説

小特集号 金型長寿命化技術の最前線



E. MURAI D. MORITA

# 冷間鍛造用金型の寿命改善 Improvement of Die Life for Cold Forging

村井 映介\* 森田 大貴\*

## 1. はじめに

鍛造技術は自動車産業の発展とともに進化してきた。冷間鍛造は1950年代に導入され始め、今日に至るまで大量生産のプロセスとして日本のものづくりを支えてきた<sup>1),2)</sup>。近年においても生産コスト低減の要求は非常に厳しく、冷間鍛造でのネットシェイプ化がこれまで以上に求められている。

鍛造は他の加工法と比較すると生産性で非常に有効であるが、金型が短寿命であればその有効性も失われ、他の加工法に置き換えられることになる。生産性の向上のためにも金型の寿命改善は非常に重要である。

冷間鍛造金型の寿命に関してはこれまでも多くの報告がされ、金型破損の要因が複雑であることが示されている<sup>3)~12)</sup>。よって、あるアイテムに行った寿命対策が、必ずしも類似品に適用できるとは限らない。そのため、部品ごと、生産現場ごとに観察などの検証をしっかりと行った上で対策する必要がある。

ここでは、冷間鍛造金型の破損の分類とその原因、対策について事例を交えながら示す。ここで示す事例はあくまでも一例である。

## 2. 金型の損傷とその対策

### 2.1 金型の損傷と観察

金型の損傷形態は大きく分類すると割れ(図1(a))、焼付き(図1(b))、摩耗、変形である<sup>5),7)</sup>。それぞれの形態についてさらに細かく分類をすることができる。割れは、亀裂、コーナーの欠けなどに、変形は膨らみ、曲がりなどに分類することができる。このような破損形態は製品や金型ごと

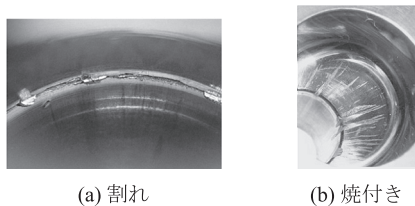


図1 金型の破損

に大きく異なる。また、作業者、使用環境の変化や金型の加工方法等さまざまな要因が存在する。その原因を調査することは、金型の寿命向上に非常に重要で、特に損傷金型の観察は必要である。

図2は破損した金型の破面である。破面を観察することによって起点と割れの進展方向を把握することができる<sup>13),14)</sup>。また、図3のようにSEMを用いてさらに拡大することにより、異物混入などを確認することも可能である。

破損した金型の他に可能であれば鍛造品の観察も必要である。成形不良によって、想定以上の面圧が負荷している場合がある。鍛造品表面の観察から明らかにできる場合もあるが、材料内部の変形は断面の鍛流線の観察でのみ明らか

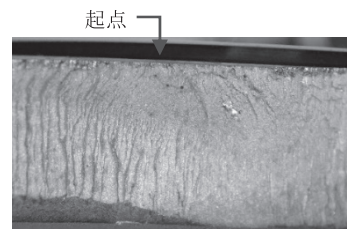


図2 破損した金型の破面

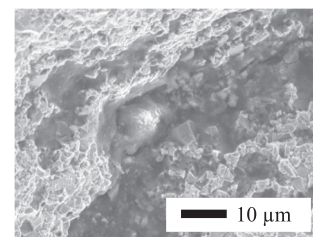


図3 SEMによる金型破面の観察

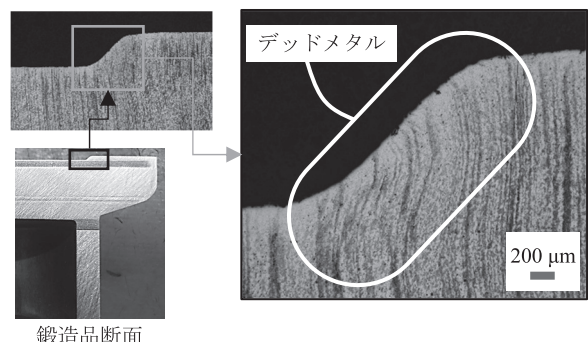


図4 鍛造品断面の鍛流線

原稿受付 2021年2月10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禪定寺塩谷14  
E-mail: murai@nichidai.co.jp

かにすることができる。図4はある鍛造品断面の鍛流線を観察した例である。この観察によってデッドメタルの発生を確認することができる。

## 2.2 各損傷形態に対する対策

(1)割れ 割れの対策としては応力集中を低減させるために金型形状や構造、鍛造工程の変更があげられる。図5は折損した穴入れパンチである。断面減少率は40%、穴の細長比は3.4、パンチ材質は粉末ハイス、鍛造品の材質はSWCH35である。これまでは約30,000ショットで寿命となっていた。

穴入れパンチについては偏心による曲げ応力で損傷することが報告されており、偏心量と曲げ応力には一定の関係があることが示されている<sup>3)</sup>。この場合も偏心による曲げ応力が折損の原因と考えられた。図5(c)に示すようにすでに穴入れ工程の前にへそを設けていたが、パンチとのクリアランスは0.0875であった。今回、偏心による曲げ応力を低減する目的でこのクリアランスを0.0375 mmに変更したところ、約47,000ショットまで寿命が向上した。

割れの対策として応力集中の低減の他に型材や熱処理条件の変更による靱性の向上があげられる。1970年ごろより切削工具鋼として開発されたSKH51などの高速度工具鋼(ハイス)が冷間鍛造にも使われるようになった。最近ではSKH51に対して靱性を改良したマトリックスハイスや粉末ハイスなどが各材料メーカーより開発されている<sup>15)~18)</sup>。

図6はスクロール成形金型の異形部に発生した縦割れで、この割れにより平均30,000ショット以下で寿命となっていた。型材はマトリックスハイスである。工具鋼などでは焼入れの速度が靱性に影響することが報告されているが<sup>19)</sup>、この場合も靱性の向上を狙って、焼入れ条件を見直した。

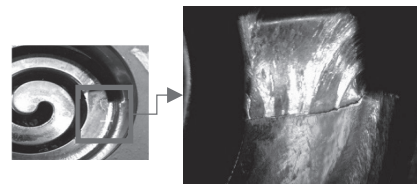


図6 スクロール金型の割れ

焼入れ温度を1145℃から1120℃、保持時間を42分から32分、焼入れ媒体をガスから油に変更し、結晶粒の微細化、粒界炭化物析出とベイナイト成長を抑制することによる靱性の向上を試みた。その結果、寿命は約2.8倍の約85,000ショットまで向上した。図7はシャルピー試験によって衝撃値を調べた結果である。ガスによる冷却では50 J/cm<sup>2</sup>であったが、油冷却に変更することで、ベイナイトの生成が抑えられ、200 J/cm<sup>2</sup>まで衝撃値が上昇し、狙い通りの結果となった。図8は組織の観察結果であるが、ガス冷却ではベイナイトの点在が確認できるが、油冷却の場合ではベイナイトの生成は見られなかった。

図9は硬度のばらつきを示したものである。図は4箇所測定した結果である。ガス冷却ではばらつきが大きい、油冷却ではばらつきは小さくなっている。

これまでは、鍛造工程あるいは金型材料の熱処理を見直すことによって、寿命改善をした事例を示した。次に金型加工が金型寿命に及ぼす影響について示す。冷間鍛造型では金型の面粗度は疲労寿命に大きく影響することが報告さ

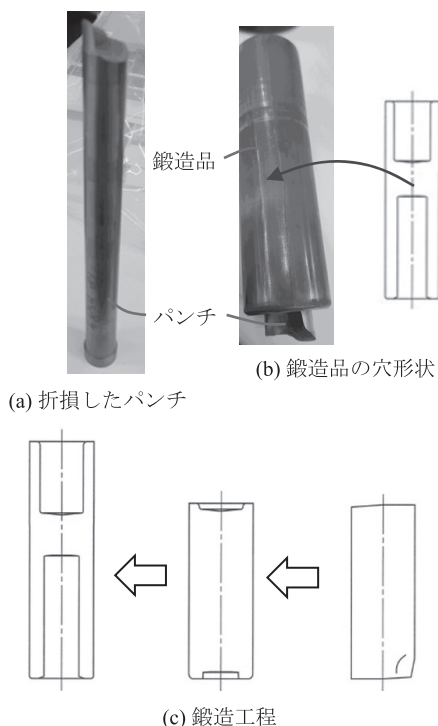


図5 穴入れパンチの折損

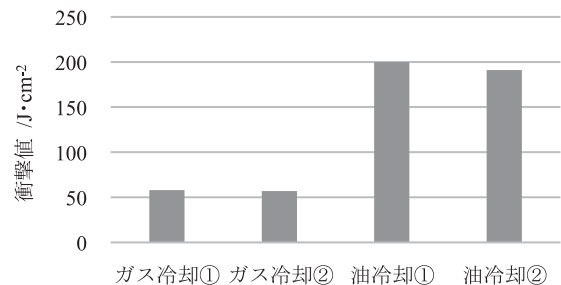
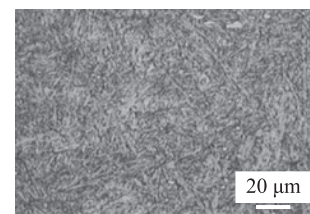
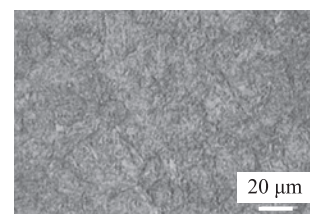


図7 衝撃値の比較



(a) ガス冷却



(b) 油冷却

図8 組織写真

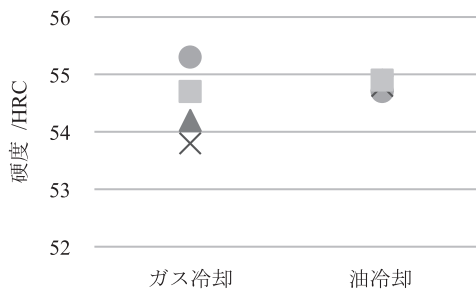


図9 硬度のばらつき

れている<sup>20)</sup>。金型の面粗度は金型の仕上げ工程であるラップ磨きが大きく関わっている。図10はスクロール金型のラップ磨きについて示したものである<sup>21)</sup>。ラップ機による自動磨きを行った後に手動によるラップ磨きを行っている。異形状の場合は手動による磨きとなるため、不具合が起きやすい。図11は磨きの不具合によって発生したスクロール金型の割れの例である。その他にも、図12に示すように直彫りのツールマークが残留し、そこを起点に割れが発生した例もある。

ラップ工程は放電層の除去にも必要である。図13に示す型彫り放電加工では表面を溶かしながら加工するため、加工後の表層に放電層が残る。この放電層は溶融して凝固するため引張りの残留応力となる。図14のようにラップ工程によって取り切れなかった残留放電層は引張りの残留応力のために割れの原因になるので注意が必要である。面粗度とともにこの残留応力も疲労寿命に大きく影響することが報告されており、放電層の除去は重要である<sup>22)</sup>。

図15はある金型の型彫り放電後とエアラップ。ラップ工程後の残留応力を比較したものである。測定にはパルステック工業(株)のポータブル型 X線残留応力測定装置 ( $\mu$ -X360s) を使用した。型彫り放電後は引張りの残留応力であるが、磨きにより圧縮の残留応力に変化している。最近では電極の製作と管理が不要となるため、型彫り放電から直彫りへの工法置換が進んでいる<sup>23)</sup>。放電層がないため、残留応力が圧縮になりやすく有効である。



(a) ラップ機による磨き (b) 手磨き

図10 ラップ工程<sup>21)</sup>

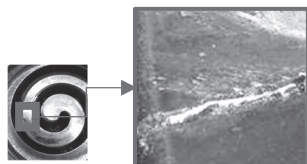
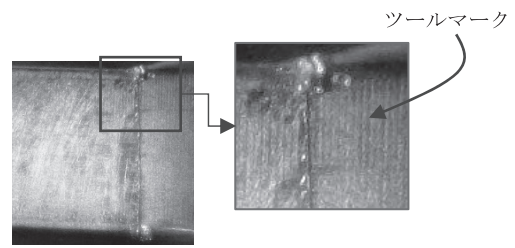
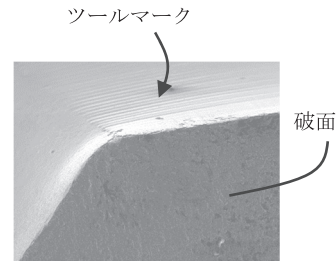


図11 ラップ工程不具合によるスクロール金型の割れ

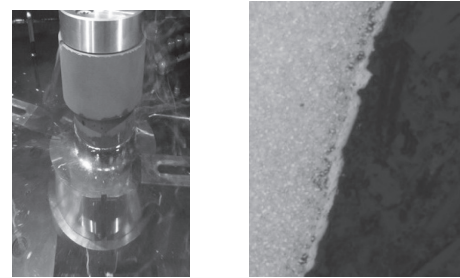


(a) 事例1



(b) 事例2

図12 ラップ工程の不具合によるツールマークの残留



(a) 放電加工<sup>21)</sup>

(b) 放電層

図13 放電加工

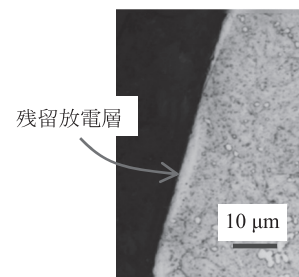


図14 残留放電層

(2)焼付き・摩耗 焼付きや摩耗は金型と鍛造品の接触状況が大きく影響し、金型の形状や材質、表面処理や潤滑の状態によって大きく状況は異なる<sup>24),25)</sup>。焼付きは金型の硬度をあげることが有効で<sup>24)</sup>、SKH51では炭化物量が影響することが報告されている<sup>26)</sup>。図16はマトリックスハイスをディスクとし、SCM420をピンとして行ったピンオンディスク試験の結果である。ラップ処理はすぐに焼付きが発生したが、電子ビームにより表層部を硬化した場合は1時間の摺動でも焼付きは発生していない。ピンオンディスクによる検証をそのまま冷間鍛造に適用することはできないが、表層硬度が焼付きに影響することがわかる。

硬度をあげる点では超硬が焼付きに対して効果があると

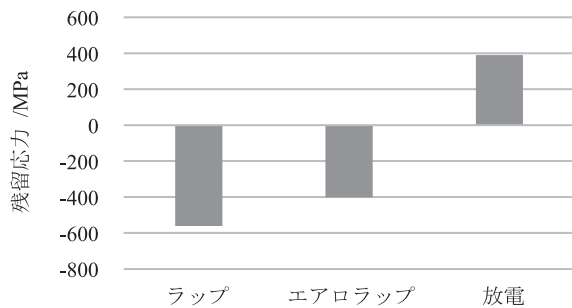


図15 金型加工工程ごとの残留応力の比較

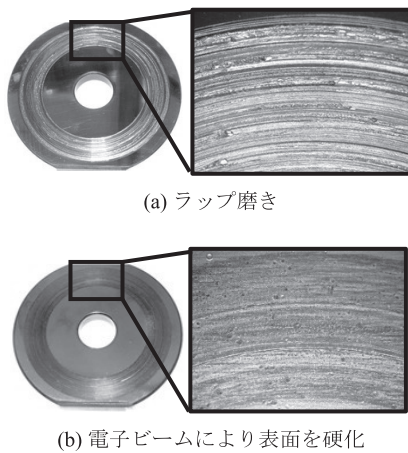


図16 焼付きの比較

の報告もある<sup>7)</sup>。図17はベベルギア（ピニオン）の金型で、超硬を用いている。表面処理は施していないが、素材のリン酸亜鉛皮膜と二硫化モリブデンにより焼付きが防止でき、約120,000～170,000ショットで寸法許容限界に達して寿命となる。

焼付きについては型材の硬度をあげることが有効であるが、表面処理はさらに有効でバナジウム炭化物（VC）の表面処理で効果があるとの報告もある<sup>26)</sup>。その他に窒化チタン（TiN）が比較的早くから利用されているが、最近では数多くの硬質皮膜が開発されている<sup>27)</sup>。

図18は据込みパンチに発生した焼付きである。当初はSKH51にピッカース硬さ1,800HV、酸化温度550℃のTiNをPVD（Physical Vapor Deposition）により処理していたが、13,000ショットで焼付きが発生した。そこで、型材はそのままで酸化温度1,200℃、HV3,500のアルミニウム（Al）系の表面処理に変更したところ、96,000ショットまで寿命が向上した。

図19は抜きパンチセレーション部の摩耗の状態を示している。材質はSKH55で表面処理は施してなく約8,000～15,000ショットで摩耗が発生していた。そこで、PVDによりTiNのコーティングを実施したところ、約3倍の約50,000ショットとなった。摩耗に対してはVC被覆が摩耗に対して効果を示す報告があり<sup>7)</sup>、PVDによるバナジウム（V）系の表面処理も試した。こちらも効果があり約30,000ショットであった。

図19の例ではカウンターパンチも寿命対策を行った。摩耗に対する超硬の効果に関する報告はいくつかあるが、

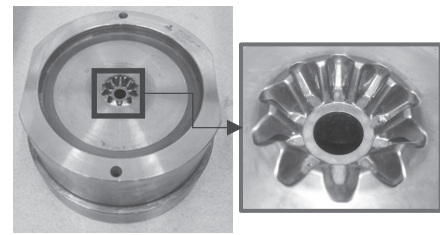
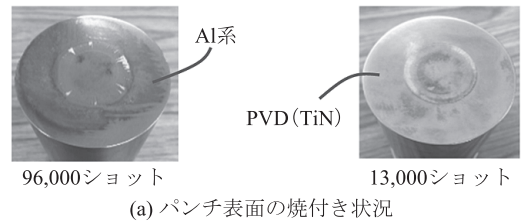
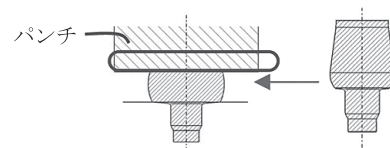


図17 使用後のベベルギアの金型



(a) パンチ表面の焼付き状況



(b) 工程図

図18 据込みパンチの焼付き

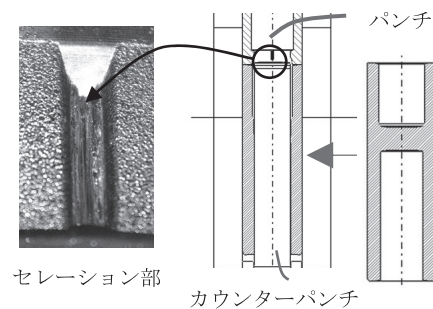


図19 セレーション部摩耗

この例でも超硬を使用、TiNをPVDにより処理を施して使用していた。しかし、10,000ショットでランド部の摩耗により寿命となった。そこで、より高硬度で低摩擦のTiCNをCVD（Chemical Vapor Deposition）により処理したところ、50,000ショットまで寿命が向上した。また、PVDにより、高温酸化性にすぐれたAlCrN系の処理を施したのも使用したが、こちらも50,000ショットまで寿命が向上し、効果が大きかった。

摩耗や焼付きは鍛造品の品質に大きな影響がでるが、工具の破損にもつながることがある。図20は焼付きが破損の一因になったと思われる例である。この例では底厚を薄く設定したことによりダイ内圧が高くなったこと、ダイとのクリアランスが広いことで円周方向応力が高くなったことが要因と考えられた。この問題に対しては底厚を1mm程度厚くし、焼付きを防止するためにPVDによる表面処理を追加した。表面処理は鍛造品との接触部の他外周部にも追加し、ダイとのクリアランスを小さくした。これらの対策により、焼付きは防止でき、寿命も約200ショットから約30,000ショットに向上した。

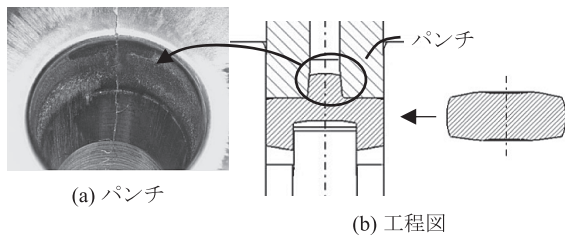


図20 パンチの縦割れ

図21はパンチの摩耗が欠けにつながった例である。多くの場合、型材の変更や表面処理によって対策とする。しかし、この場合は鍛造工程で発生するバリを抑えることで摩耗を防止し、欠けを防ぐことができた。バリは前工程のカウンターパンチ位置の調整で抑えることができ、寿命は約30,000ショットから約100,000ショットに向上した。

表面処理は摩耗などに対して効果があるが、処理の範囲には注意が必要である。図22は10,000ショットでダイ内面の表面処理が剥がれた例であるが、これは金型同士の接触によるものである。パンチ側面の処理を剥がすことによ

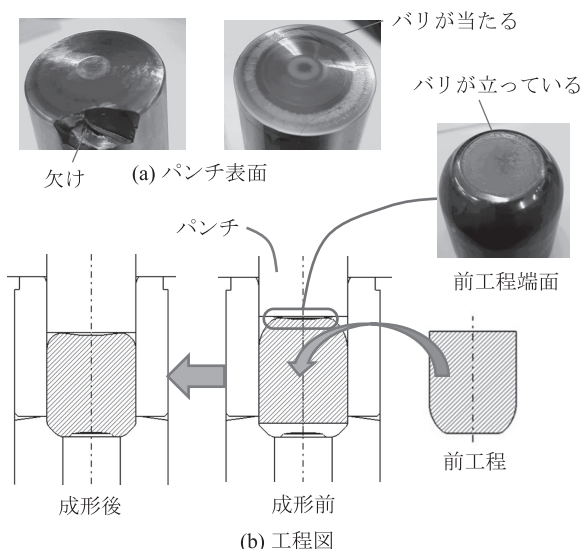


図21 パンチ表面の摩耗と欠け

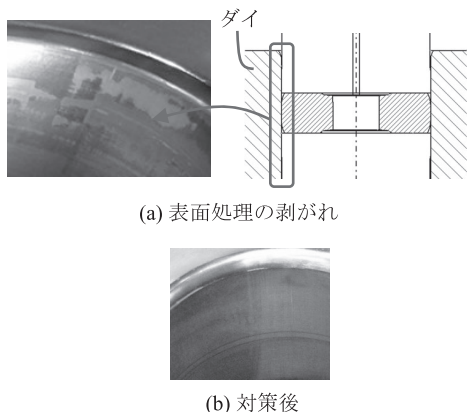


図22 ダイ内面の表面処理の剥がれ

ってこの処理剥がれは解消し、約20,000ショットでも表面処理の剥がれは発生しなかった。

### 3. おわりに

鍛造は大量生産のプロセスとして自動車を中心とする日本の産業を支えてきた<sup>28)</sup>。近年もネットシェイプを目指した冷間鍛造技術は進化しており、今後の日本の産業を支え、国際競争力を高めていかなければならない。そのためには金型寿命は非常に重要である。鍛造、塑性加工に限らず金型の破損はさまざまな要因が複雑に絡み合っている。本稿で示した寿命対策はあくまで一例に過ぎず、その他のアイテムにそのまま適用することは難しい。しかし、多少でも読者の参考になるものと思ひ、示させていただいた。

### 参考文献

- 1) 小坂田宏造：素形材，**60-2** (2019)，38-46.
- 2) 小坂田宏造：素形材，**60-3** (2019)，60-67.
- 3) 石原康正・楠兼敬・大西利美・鈴木隆充：塑性と加工，**5-38** (1964)，210-216.
- 4) 石原康正・楠兼敬・大西利美・鈴木隆充：塑性と加工，**5-39** (1964)，257-264.
- 5) 山田通・北島宣誠・松波宗治：塑性と加工，**12-122** (1971)，197-204.
- 6) 北島宣誠・服部一郎・口田勝彦・芳賀郁雄：塑性と加工，**15-166** (1974)，938-942.
- 7) 岩崎功：塑性と加工，**23-261** (1982)，984-989.
- 8) 松井正廣：第209回塑性加工シンポジウムテキスト，(2002)，41-49.
- 9) 松田徹：第209回塑性加工シンポジウムテキスト，(2002)，65-71.
- 10) 濱家信一：第230回塑性加工シンポジウムテキスト，(2004)，45-51.
- 11) 濱家信一：素形材，**53-7** (2012)，33-36.
- 12) 鈴木敏孝・小出宏・遠藤剛・市石賢司：第68回塑性加工連合講演会講演論文集，(2017)，145-146.
- 13) 江原隆一郎・武田圭祐・岩本将英・藤本英明・小倉篤・濱家信一：材料，**60-11** (2011)，1009-1014.
- 14) 前田雅人：ぷらすとす，**2-19** (2019)，407-410.
- 15) 松田幸紀：塑性と加工，**42-480** (2001)，3-7.
- 16) 横井大円：塑性と加工，**48-553** (2007)，85-90.
- 17) 並木邦夫：塑性と加工，**50-582** (2009)，597-601.
- 18) 福元志保・小畑克洋：塑性と加工，**54-630** (2013)，570-574.
- 19) 井上幸一郎：塑性と加工，**49-569** (2008)，501-505.
- 20) 村松勁・夏目喜孝：塑性と加工，**20-225** (1979)，957-961.
- 21) Murai, E.: 51th Plenary Meeting of ICFG, (2018)，177-184.
- 22) 竹本誠・河原淳二・小坂田宏造：2019年度塑性加工春季講演会講演論文集，(2019)，65-66.
- 23) 村井映介：塑性と加工，**57-664** (2016)，411-415.
- 24) 北村憲彦：第325回塑性加工シンポジウムテキスト，(2017)，1-5.
- 25) 五十川幸宏・土屋能成：塑性と加工，**39-455** (1998)，1207-1211.
- 26) 土屋能成：ぷらすとす，**2-19** (2019)，397-401.
- 27) 仁平宜弘：ぷらすとす，**2-19** (2019)，402-406.
- 28) 石川孝司：ぷらすとす，**3-28** (2020)，194-198.