

熱間鍛造用平パンチの寿命向上

Die life improvement of flat type punches for hot forging

中崎 盛彦*1, 江良 康司*2, 明珍 洋之*3, 高須 一郎*4

Morihiko Nakasaki, Koji Era, Hiroyuki Myochin and Ichiro Takasu

Synopsis: Since forged products have been required more complex and net-shape, the tool cost tends to increase day by day. The improvement of the die life is a crucial matter for the reduction of processing cost on forging business.

In this report, a case of the die life improvement was introduced. The die life of flat punches due to erosion crack for hot forging was improved by using the punch with a center air vent. Consequently, the followings were found through the CAE analysis and forging experiments;

- (1) The erosion cracks in this case was due to the spout of the lubricant trapped between a punch and a work, not in the room at the last stage of forging. It occurs under the high pressure over the criteria of the lubricant spouting out.
- (2) The higher pressure increasing rate, the shorter life of flat punches regarding life due to erosion cracks.
- (3) To prevent the erosion crack of punches, it is effective to establish an air vent at the center of the contact surface.

key words: erosion crack, net shape, air vent, hot forging, 3-D CAE analysis, die life, pressure, lubricant

1. 緒言

近年、鍛造品において、ネットシェイプ、ニアネットシェイプといった、高精度かつ複雑な形状が要求されている。そのため、製品コストに占める金型費の割合が増加しており、金型費削減のため金型寿命の向上が鍛造業界の重要な課題となっている¹⁾。

金型寿命については先行研究が多数あるが、済木は鍛造型の3大寿命形態を摩耗、割れ、塑性変形であると述べている²⁾。また、型割れ、摩耗、熱軟化摩耗、ヒートクラック、エロージョンの5パターンに細分化して対策を取る例もある³⁾。金型寿命については、鍛造のCAE解析にて得られる応力や温度を現実現象に当てはめて解析することが多く、当社でもその一例を報告している⁴⁾。また、金型寿命の大半を占める摩耗については、累積摩擦仕事量から金型寿命を予測した例などがあるが⁵⁾、ガス疵などエロージョン起因の金型損傷について述べられた例は少ない。エロージョンとは、通常ダイス隅R部等に閉じこめられた空気や潤滑剤が瞬間的に噴出してダイスを損耗させる現象であり、エロージョン対策として金型のコーティングを変更して寿命を改善した例が取り上げられている³⁾。

本報では、熱間鍛造用平パンチにおけるエロージョン疵の原因の特定並びに改善につなげた。金型寿命改善に取り

組み、平パンチの金型寿命について整理し、短寿命要因であるガス疵防止のための方策を検討し、ガス孔を適切な位置に設けることにより寿命を向上させた。また、パンチのガス孔の位置・個数別にガス疵防止への効果を検証し、ガス孔位置の最適化について検討した。

2. 平パンチの寿命について

今回対象とした工具は、ワーク接触面が平坦な鍛造用平パンチで、ワークとの接触面の外周近傍に深い疵が発生する問題があった。類似形状でも同様の問題が発生しており、ここでは最も短寿命なものを取り上げて取り組みを行った。

Fig. 1に平パンチの外観と損傷形態を示す。パンチ角部に発生するこの損傷は、形態からエロージョン起因と推定される。金型寿命は、約600ショットと非常に短く、頻繁にパンチを交換する必要があるため、コストのみならず金型交換所要時間が大きくなるのが問題であった。

*1 研究・開発センター プロセス開発グループ

*2 環境管理部 環境技術グループ 兼 研究・開発センター プロセス開発グループ

*3 サントクテック株式会社 姫路工場 精鍛課

*4 研究・開発センター プロセス開発グループ長, PhD

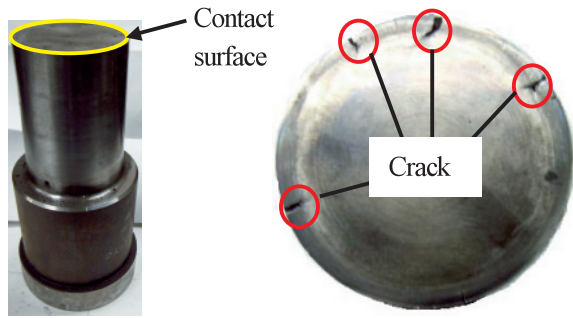


Fig.1 Appearance of flat punch (Left) and cracks in punch (Right).

3. CAE解析によるエロージョン発生原因の推定

本鍛造における材料の変形状態及びパンチ表面状態について調査するため、CAE解析により成形過程の推定を行った。解析コードには市販のDEFORM 3D™を用いた。

Table 1に解析条件を示す。

Table 1 3D CAE analysis conditions.

Analysis code	DEFORM 3D™
Flow stress /MPa	$\sigma=1.61\exp(6168/T) \epsilon^{0.13} \dot{\epsilon}^{0.21}$
Friction coefficient	m=0.70 (shear)
Element type	4-node tetra element
Number of elements	30000

Fig.2に本鍛造工程におけるワーク変形過程のCAE解析結果を示す。まず金型上部が充填し、ストローク率80%では、ダイス上部の金型と素材とが接触し、パンチ、ダイス、素材に囲まれた閉空間 S_1 ができる。さらに加工が進むと、 S_1 部に閉じ込められた空気や潤滑剤の逃げ場がなくなり、金型同士のクリアランスのわずかな隙間から急激に吹き出すことにより金型を損傷させると推定した。

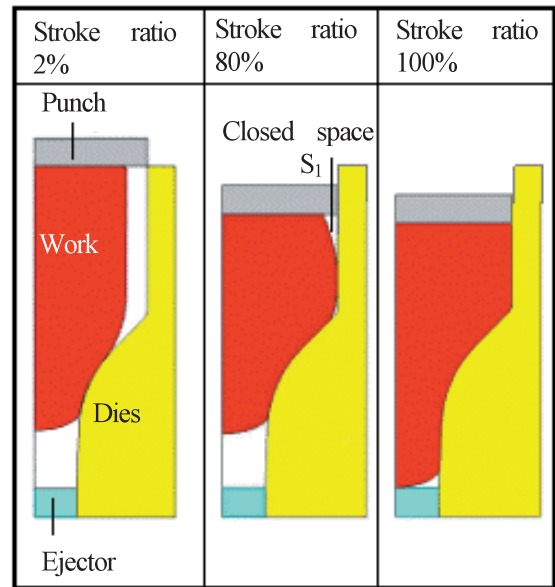


Fig.2 Schematic diagrams of the deformation process.

そこで、工具寿命向上を目的として、平パンチにガス抜き孔を設けた場合の実験を行った。従来のガス抜き穴を設けないパンチをタイプAとし、ワークの初期外径より外側に設けたタイプBのパンチと、ワークの初期外径より内側に設けたタイプCのパンチを試作し、それぞれ鍛造テストを実施した。ガス抜き孔は各パンチ3箇所、同心円状の等間隔、半径位置も同じ位置に設けた。Fig.3にパンチに設けたガス孔の位置を示す。また、Fig.4にガス孔と対応する閉空間位置関係を示す。パンチBは閉空間 S_1 の、パンチCはパンチとワークに残存する隙間 S_2 部にトラップされた潤滑剤の、吹き出しに対応したものである。これらの中から、疵の多発したタイプAを除いたタイプB及びCのパンチを用いて実機テストを実施した。

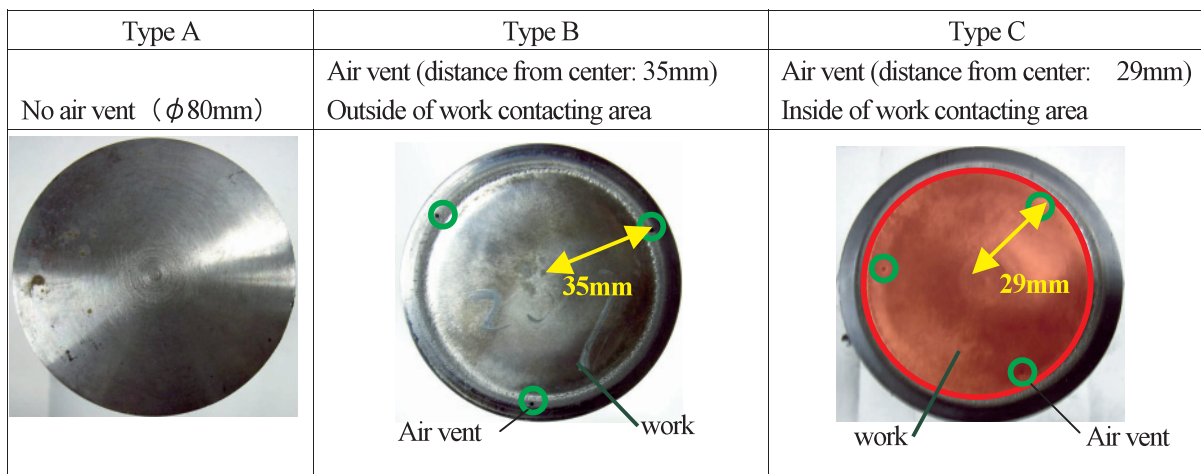


Fig.3 Appearances of punches after forging.

4. 実験結果

4・1 ガス孔位置のパンチ寿命への影響

鍛造テストの結果をFig.5に示す。タイプAはFig.1に示した通りエロージョン疵が発生し、寿命は約600ショットと非常に短かった。これに対し、タイプBでは、全9本のテスト品のうち、2本で外周のエロージョン疵が発生し、加えてガス抜き孔にも損傷が見られた。また4本では疵は見られないものの、ガス抜き孔が損傷して寿命となった。タイプBのパンチの平均寿命は4,000ショット程度であった。この値は、タイプAに比べると大幅に改善されたと言えるが、熱間鍛造金型としては十分とは言えない。また、ガス抜き孔を設けたことによりガス抜き孔近傍の損傷が新たに発生している。これは、ガス抜き孔からガスが抜けたと推定されるため、エロージョンの発生箇所が変わったのみで発生要因は変わらないと考えられることから、疵の程度は改善されたものの、根本的な解決には至っていない。

一方、タイプCでは、7本のテスト品全てでエロージョン疵は見られず、またガス抜き孔の損傷も軽微であることがわかった。タイプCの寿命要因は、鍛造初期に金型がワークに接触する部分のかじりによる摩耗であり、平均寿命は10,000ショット以上と良好な結果が得られた。

以上の結果より、パンチに発生するエロージョン疵を防止するには、タイプCのパンチが有効であることが分かった。また、パンチに発生するエロージョン疵の原因は、閉空間S₁部に閉じ込められた空気や潤滑剤ではなく、パンチと素材間のごくわずかな隙間S₂部にトラップされた潤滑剤の噴き出しによるものと推定される。



Fig.4 Schematic diagram of lubricant trapped room.

Type of punch		Type B	Type C
Appearance after forging		<p>Erosion crack</p> <p>Air vent (damaged)</p>	<p>Air vent (no damage)</p>
Factor of die life	Erosion crack	2/9	0/7
	Damage in air vent	4/9	0/7
	Abrasion	3/9	7/7

Fig.5 Relationship between the die life factors and the air vent positions.

4・2 平パンチのエロージョン損傷発生のメカニズム

4.1節に示した結果を踏まえて、平パンチに発生したエロージョン損傷の原因について検討する。ワーク表面の微小ピットに潤滑剤が溜まるという知見⁷⁾から、パンチとワークの接触面内に残存した潤滑剤の水溶性黒鉛の水分が気化、または黒鉛の粒子が吹き出すことによると考えることができる。または、材料と固体潤滑剤を同時に変形体として扱った解析結果⁸⁾から、パンチと材料の接触面圧が中央ほど小さいため、パンチと材料の間に潤滑剤が溜まっているなどの原因が考えられる。こうした潤滑剤の噴き出しには、鍛造時の面圧が影響すると考えられる。そこで、上記

のCAE解析によりパンチにかかる面圧を算出し、疵発生のメカニズムについて考察した。

Fig.6に各ストローク率における鍛造状況とパンチにかかる面圧を示す。ストローク率0~80%までは、パンチ中央に近いほど面圧が低くなっているため、潤滑剤がパンチ中央付近にトラップされている。ストローク率80%以降になると、素材がダイス上部の壁面に接触して全体的に面圧が急上昇するため、ガス抜き孔のないタイプAのパンチでは、ワークとパンチの間にトラップされていた潤滑剤が噴き出し、パンチに疵を発生させたと考えられる。

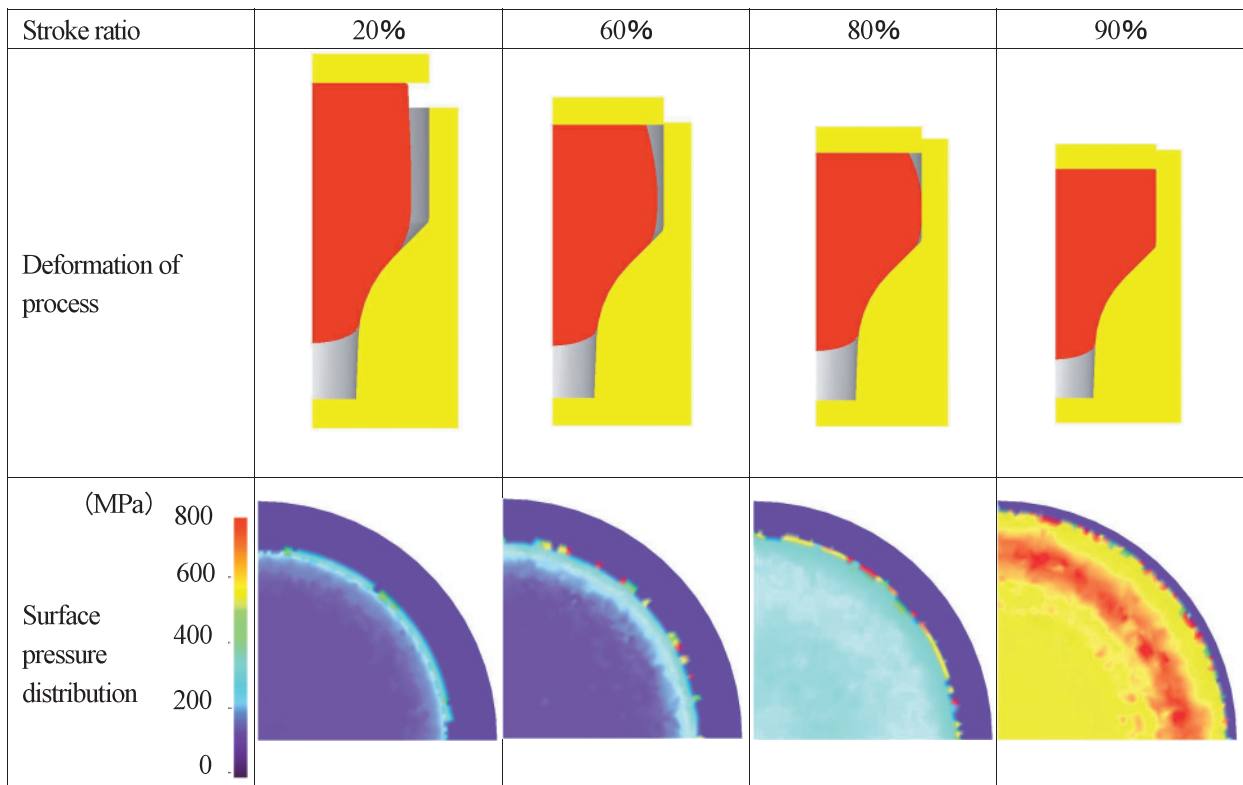


Fig.6 Surface pressure distribution on the flat punch.

そこで、素材とダイス上部壁面の接触時から鍛造終了時までの面圧の上昇値を時間で除した値を面圧上昇速度と定義し、平パンチを使用している数種類の類似型番において寿命との関係を調査した。Fig.7にその結果を示す。面圧上昇速度が大きいものほど寿命が短い傾向があり、今回調査した対象品が最も高い面圧であることが分かった。これら平パンチのほとんどがエロージョン疵発生により寿命を迎えており、面圧が急激に上昇するほど潤滑剤が勢いよく

噴き出すため、パンチに疵を発生させやすく、早期破損に至ったと考えられる。

タイプCのパンチに疵が発生しなかったのは、鍛造開始からガス抜き孔が潤滑剤滞留位置に接触しているため、潤滑剤が低面圧の間に徐々に抜けていったためと考えられる。一方、タイプBのパンチでは、ガス抜き孔がS₂部と接触するのがストローク率86%以降のため、ガス抜き時の面圧が高いため、ガス抜き孔が損傷したと考えられる。

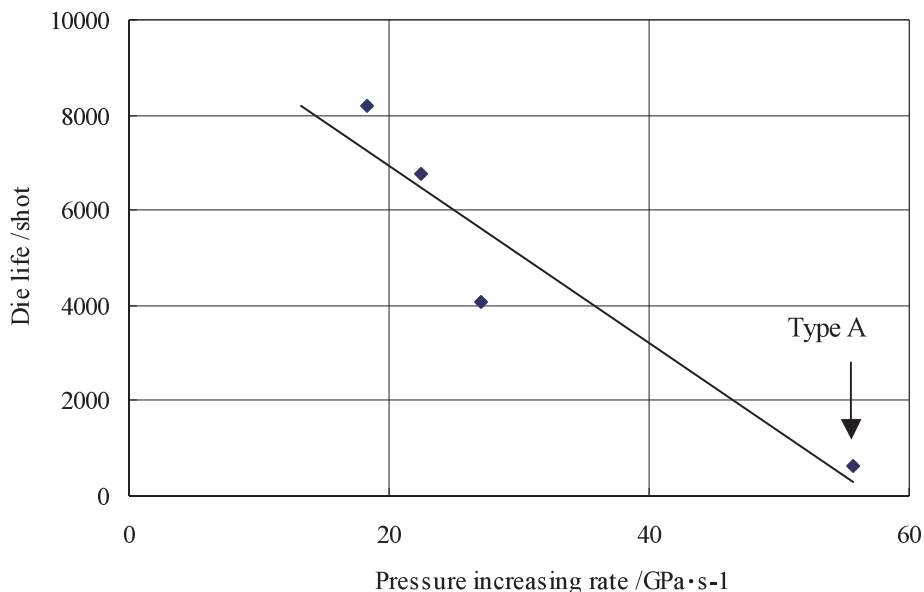


Fig.7 Relationship between pressure increasing rate and die life.

4・3 ガス抜き孔位置の改善

上記の疵発生メカニズムから、パンチに発生する疵を防止するには、パンチ中央にガス抜き孔を1つだけ設けるだけで十分効果が得られると考えられる。そこで、ガス抜き孔をパンチの中央部に開けたパンチDを試作し、確認テストを行った。

結果をFig.8に示す。テスト品3本のうち、3本ともエロージョン疵は発生せず、ガス抜き孔の損傷も軽微であった。パンチDの寿命要因は摩耗であり、平均寿命は15,000ショット以上と非常に良好な結果となった。このことから、上記の疵発生メカニズムの信憑性が確認できた。

	Type of punch	Type D
Factor of die life	Erosion crack	0/3
	Damaged air vent	0/3
	Abrasion	3/3



Fig.8 Surface appearance of the punch with a center air vent after 15000 shots.

5. 結言

平パンチに発生するエロージョン疵に対する対策としてCAE解析及び実機実験を行い、以下の知見を得た。

(1) 平パンチに発生するエロージョン疵は、密閉鍛造末期に急激に空間が閉塞することによる空気や潤滑材の噴き出しではなく、パンチとワークの隙間にトラップされた潤滑剤が、急激な面圧の上昇により噴き出すことにより発生す

ると推定される。また、エロージョン疵は、面圧が一定以上の値を取る場合に発生することがわかった。

(2) エロージョン疵による平パンチの寿命は、面圧上昇速度が上昇するにつれて低下することが分かった。

(3) エロージョン疵を防止するには、パンチにガス抜き用の孔を設けることが有効であることが分かった。また、このガス抜き孔の位置は、ワークと材料が接触している位置、特に中央部が最も望ましい。

参考文献

- 1)財団法人 鍛造技術研究所, 財団法人 素形材センター:平成7年度 鍛造用金型寿命向上調査研究報告書, (1996), 3.
- 2)清木弘行:特殊鋼、48-7 (1999), 35.
- 3)渡部清彦:素形材,46-5, (2005), 17.
- 4)中溝利尚、笠井貴之、高須一郎:山陽特殊製鋼技報, 9, (2002), 27.
- 5)森下弘一、鈴木寿之:塑性と加工、45-520 (2004), 310.
- 6)中小企業事業団:鍛造加工技術・技能マニュアル, (1999), 14.
- 7)塑性加工におけるトライボロジー、コロナ社,東京 (1983).
- 8)中村保、田中繁一、早川邦夫、今泉晴樹、深井良明:第49回塑加連講論,(1998), 109.

■著者



中崎 盛彦



江良 康司



明珍 洋之



高須 一郎