工具鋼製打ち抜き型のチッピング現象について

石 原 襄* 永 井 正 一*
飯 塚 富 雄* 大 内 康 司**

Joo Ishihara, Masaichi Nagai, Tomio Iizuka and Yasushi Ouchi : Research of Chipping Phenomenon on Blanking-Punch made of Tool Steels. The present study was undertaken to clarify the mechanism of chipping phenomenon frequently found on pressing punch, since no definite theory to describe the phenomenon has been established. The punches made of several different types of tool steel were used to stamp out sheets of mild steel and stainless steel. Blanking punches, after use, were examined by means of electron fractography and optical microscopy.

The results of observation were summarized as follows.

(1) When stamping out 18Cr-8Ni type stainless steel sheets, some of the metal from the sheets adhered to the side surface of the punch after several thousand blankings. As blanking continued, the metal fell off and adhered repeatedly, while a small pit was formed at the side surface of the punch.

(2) When blanking out mild steel sheets, wear was observed at the side surface of the punch after several thousands or more of blankings. And the carbides present at the surface of the tool steel fell off from the matrix and pits were formed.

(3) After pit formation, cracks appeared at the corner of the pits.

(4) When chipping occurred on a punch, the fractured surface was examined. As a result, fatigue fracture took place near the side surface of the punch and brittle fracture inside the punch.

(5) It was surmised that the working stress of blanking was concentrated at the pits formed on the side surfaces. From these observations, it was concluded that fatigue cracks started from the side surfaces of punches and brittle fracture propagated inwards.

The proposed mechanism of chip formation is in contrast to the conventional concept of simple cracks starting from the punches.

(Received September 22, 1975)

I. 緒 言

プレス用金型のうち、打ち抜き用の金型においてチッピングと称する現象が現われることがある。これは被加工材を数千～数万枚程度打ち抜いた後に現われる現象で、ポンチ刃先の微細な欠損である。この現象にはポンチ表面の組織変化をとまらう過程があるが、これに関する系統的な研究は従来あまり見られない。一方本現象と混同しやすい事故に「かじり」と称するものがある。これは上型(ポンチ)が下型(ダイス)に触れたため刃先が欠けるものである。チッピング現象は「かじり」と異なり、型どうしの接触はなく、この原因についてはさまざまな説が流れていた。著者等はこれに対し、フラクトグラフィの手法^{(1)～(6)}および金属組織学的手法を用いて本現象を解明した。

II. 実験装置

今回の実験に用いたプレス金型の概略図を Fig.1 に示す。ダイス表面からダイス穴へのポンチ進入量は Fine

Blanking プレスで 0.1 mm ストレートサイドプレスで 0.4 mm とした。またダイスの平行部は 5 mm, その下に 3° の勾配をつけた。一方被加工材はローラフィードによりダイスセットへ送り、その際の潤滑剤はマシン油 1 号 (#120) を両面に薄く塗布した。

実験に用いたポンチは M ポンチ、T ポンチおよび H ポンチの 3 種の形状とした。Photo.1(a) に M ポンチの外観写真を示す。ポンチ材質は SKD-1 鋼を 1020°C より空冷後

Fig.1 Schematic diagram of essential parts of the apparatus.

* 日立製作所日立研究所(Hitachi Research Laboratory Hitachi Ltd., Hitachi)

** 日立製作所佐和工場(Hitachi Sawa Factory, Hitachi Ltd., Katsuta)

Photo.1 Appearance of specimens.

500°C×2 hr にて焼戻して $H_{RC} 59$ に硬化したものであり、仕上げ研磨は面粗さ 0.6μ とした。被加工材は板厚 4 mm で、規格硬さは $H_v 170$ 以上の冷間圧延鋼板 (SPCC) である。ポンチとダイスのクリアランスは両側で 0.01 mm とした。用いた機械は 60 t の Fine Blanking 型プレスにより 30 回/min で打ち抜いた。

一方 T ポンチは Photo.1 (b) に示すような外観であり、ポンチ材質は SKH-9 (高速度鋼) を 1230°C より焼入後 580°C×1 hr の焼戻しを 2 回行ない、硬さ $H_{RC} 61.5$ に硬化して使用した。仕上げ研磨は面粗さ 0.6μ とした。被加工材は SUS 304 で板厚は 1.8 mm、規格硬さは $H_v 200$ 以上である。ポンチとダイスとのクリアランスは片側で 0.03 mm とした。用いた機械は 200 t ストレートサイド型クランクプレスで 60 回/min で総抜き式にて打ち抜き実験を行なった。

Photo.1 (c) は H ポンチの外観を示す。ポンチの材質は SKH-9 鋼を 1160°C より 2 段焼入した後 560°C にて 3 回焼戻して硬さ $H_{RC} 62$ に硬化したものをを用いた。仕上げ面粗さは 0.6μ とした。被加工材は板厚 0.5 mm の軟鋼板で硬さは $H_v 218$ 以上の規格である。クリアランスは片側で 0.02 mm とした。用いた機械は 200 t のストレートサイド型クランクプレスで総抜き式にて 60 回/min の速度で打ち抜いた。

III. 実験方法

実験は 1000 枚打ち抜きごとに実体顕微鏡にてポンチ刃先を観察し、チップング発生が認められた場合は機械より取りはずし、チップング部の破壊様式を調査した。破面の

観察に用いたのは日立 SSM-2 型走査型電子顕微鏡である。その際破損部を走査型電子顕微鏡により観察可能な寸法 $12 \phi \times 10 \ell$ 以下に放電切析して観察に供した。以上のフラクトグラフィによりチップング部の破面解析を行なった後破損起点部付近を EPMA にて走査し、被加工材の溶着拡散の有無を調べさらに光学顕微鏡により観察し、破壊原因の根本的原因を調査した。

IV. 結果

1. H ポンチのチップング現象

H ポンチ 60000 枚打ち抜き後チップングの発生が見られた。Photo.2 はその破面を示す。これらはすべてポンチ底面から撮影したものである。チップングはポンチ切込部の両側に生じており、Photo.2 (b) で明かなように貝がら模

Photo.2 Fractographs of chipping surface of specimen punch (H).

様が見られることから疲労破壊であることが予想される⁽⁷⁾。さらに詳細にながめると起点部は黒色に見える表面に近い部分にあり、この部分を拡大した Photo.2(d)および Photo.2(e)から起点は疲労破壊であることがわかる。なぜなら Photo.2(e)は高硬度鋼特有の疲労破面であり⁽²⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾、軟質材の場合に見られるストリーションは現れないものである。一方破面の内部は Photo.2(c)に示すように擬ヘキ開破面を呈しているので⁽²⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾内部に脆性破壊が起っていたと思われる。故に破壊は最初起点にて疲労破壊が始まり、その後内部へ向って進んだと思われる。すなわちポンチ側面が起点となっていると思われた。

次に起点の生成原因を調査するためポンチ側面を調査した。Photo.3はポンチ側面を示したものである。Photo.3(a)の上部の黒色部は摩耗痕でポンチ底面に近い側面に位置している。これを0.01 mm 研磨して酸化物を除いた後に拡大したものが Photo.3(b)である。明らかに摩耗孔が見られ、一部にクラックが見られる。これらの事柄より、疲労はポンチ側面の摩耗孔が応力集中点となり、さらにポンチ形状による応力分布と合わせて最大応力となった点を起点としてスタートするものと考えられる。ここで応力と呼んでいるのはポンチ打ち抜き時の圧縮応力およびポンチ引き抜き時の引張り応力を総称するものとする。さらにこ

Photo.3 Wear surface of specimen-punch(H).
(a) Worn area appeared as black band ($\times 100$)
(b) Wear pit appeared at the side of specimen ($\times 400$)

の疲労き裂が切り欠きとなって内部へき裂が拡大したのと考えられる。

2. Mポンチのチップング現象

Mポンチは13000 枚打ち抜き後チップング発生が見られた。Photo.4はチップング部ポンチ面のフラクトグラフィ観察結果である。まず Photo.4(a)に示すようにチップングは切刃のほとんど全周域に発生しており、その一部の拡大写真例を Photo.4(b)以下に示す。明らかに段階的に割れが進んだことを示しており、2000 倍にて観察した場合にはクリーページクラックが見られる。

(a) Appearance on the base of specimen
(b) Fracture surface of chipping ($\times 330 \times \frac{4}{5}$)
(c) Quasi cleavage failure of chipping ($\times 2000 \times \frac{4}{5}$)

Photo.4 Fractographs of specimen-punch(M).

Photo.5(a)にポンチ切刃部側面の光学顕微鏡による観察結果を示す。これは側面を0.01 mm 研磨して表面の酸化膜を除いたものであるが、摩耗面には局部的なくぼみ(摩耗孔)が見られる。これはポンチ底面から4 mm 以内に多く現われているので被加工材との摩耗によりポンチ側面からの炭化物の脱落にとまって生じたものと考えられる。Photo.5(b)は1000 倍に拡大した図である。これによると摩耗孔の一部に炭化物が残留しており、上記の推定をうらづけているが、さらに摩耗孔の角隅部からクラックが伝播している。このクラックがポンチ面に平行に生じている事実はポンチ引き抜き応力に起因した引張り応力によるものであることを示している。

Photo.6は摩耗孔およびクラック断面の観察結果である。ここで Photo.6(a)に示すクラックは前述の摩耗孔への応力集中により発生したものと思われる。この微小クラックはさらにその後の被加工材との擦り合いによるせん断

Photo.5 Photo-micrographs showing the wear on the side surface of punch(M).

(a) Appearance of wear pits($\times 50$)

(b) Crack propagation from the corner of wear pit($\times 1000$)

Photo.6 Cross-section of a worn specimen-punch(M).

(a) Surface crack propagation($\times 400$)

(b) Falling down of matrix($\times 1000$)

(c) Growth of wear-pit($\times 1000$)

破壊から Photo.6(b)に示すように大きな摩耗粉を形成する可能性が見出された。ここで注目すべきことはこの摩耗粉は基地および初晶炭化物を含んでいることである。さらにこの機構のくりかえしにより摩耗孔が成長し、Photo.6(c)に示すようなくぼみが生成することは十分考えられる。このくぼみは応力集中点となり、さらにクラックが進展する可能性がある。

以上を総合してチッピング発生までの経過を考えれば、次のようになる。すなわちまずポンチ切刃部側面が摩耗して炭化物が脱落する。この脱落にともなって摩耗孔が発生する。この時ポンチは打ち抜き力および引き抜き力によって圧縮引張りのくりかえし応力を受ける。そのため形状的に応力集中の大きな部分の摩耗孔端から疲労破壊が発生する。このクラックの発生した付近では炭化物と基地が同時に脱落する大型の摩耗粉の脱落が起る可能性が大となり、このためポンチ側面に大きなくぼみを生成させる。これが切り欠きとなって疲労が内部まで進み、さらに脆性破壊を起すという過程が考えられる。

3. T ポンチにおけるチッピング現象

本ポンチは10000 枚打ち抜き後底面0.1 mm 再研磨し、2500 枚打ち抜いた場合にチッピングが見出された。チッピング部はポンチ面に平行な欠損として生成し、その欠損深さは約0.6 mm である。

Photo.7にそのフラクトグラフィを示す。Photo.7(b)以下に示すようにポンチ外周部には平坦な疲労破面帯が見られる。前述したごとく高硬度材の疲労破面はストリーションが現われないものである⁽²⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾。次に疲労破面の内側(Photo.7(d))を見ると擬ヘキ開破面が見られる⁽³⁾。このことは疲れ破面を切欠きとした衝撃的な切欠き脆性破壊が生じたものと推定される。

Photo.8はポンチ切刃部の断面観察を行なった結果を示す。ポンチ側面には擦り合いにより Photo.8(a)に示すような凝着層が見られる。この凝着層は EPMA による観察の結果被加工材である18-8 ステンレス鋼板であることを確認した。EPMA による結果を Fig.2 に示す。この凝着層の存在は結果として型のクリアランスを減少させることになるから打ち抜き力、引抜き力とも増加することにな

Photo.7 Fractographs of chipping surface of punch(T).

- (a) Appearance on the base of punch(T)
- (b) Fractograph near the edge of fracture surface($\times 160$)
- (c) Fractographs at the edge of fracture surface($\times 500$)
- (d) Fractographs at center of fracture surface($\times 1000$)

Photo.8 Cross section of punch(T). ($\times 400$)

- (a) Adhesion of stainless steel layer
- (b) Falling down of stainless steel layer
- (c) Crack propagation

り、したがってポンチは被加工材の凝着と剥離をくり返すことになる。Photo.8(b)は凝着部に生じたクラックおよびPhoto.8(c)は凝着部の剥離およびそれとともにクラックの生成を示す。このように18-8ステンレス鋼板を被加工材とした場合はポンチ側面への凝着と剥離のくりかえしによって側面に微小クラックを生成することが認められる。これが切り欠き作用をなし、疲労破壊を進行させ、さらに脆性破壊へと進む過程が考えられる。

V. 結果の検討

前述の3種のポンチによる実験結果から得られた事実を総合してみると以下になる。

(1) ステンレス鋼板を抜くポンチ側面には凝着と凝着物の脱落のくり返しによりくぼみおよびクラックの発生が見られ、軟鋼板を抜くポンチ側面には摩耗孔の発生と摩耗孔端からクラックの発生が見られる。

(2) 破面のうちポンチ外周側には疲労破面が見られ内部には擬ヘキ開破面が見られる。

Fig.2 E.P.M.A. line analysis for the adhered stainless steel on the punch (T).

以上2点からチッピングの生成過程を考える場合、筆者らはポンチ側面から疲労き裂が発生するものと推定した。そして疲労がある程度進んだ後急速に内部へ破壊が進行したという過程を考えた。この考えと逆の仮定すなわちき裂が内部から発生し、側面に向かって進行した後最後に疲労破壊したと仮定すると最初に急速な破壊があり、その後その破面は外周が疲労破壊する時点までポンチ内部はき裂を含む状態で稼働していたことになり、その破面は当然摩擦が長期くり返された跡が生じていなければならない。すなわち破面内部にラブマークが現われていなければならないが、今回の結果では内部にそのような状態は見られない。ゆえに破壊は外周部の疲労破壊部が起点と考えることは妥当と考える。この疲労の起点は上述したようなポンチ側面に発生した凹部に応力集中した点であると見なすことも妥当と考える。ここでいう応力とはポンチ引き抜き時に発生する引張り応力およびポンチ打ち抜き時に発生する圧縮応力を考えたが前者の影響が大であると思われる。

一方本理論によるチッピング発生の金型のクリアランスとの関係について考えると次のようになる。すなわち金型のクリアランスが極く小さくなるとポンチ側面におよぼす被加工材の側方力が大となり、その結果ポンチ側面にピットまたは摩耗孔が発生することが多くなり、同時にポンチ引き抜き力も大となるのでポンチ側面におよぼす引張り応

力も大きくなる。このように応力集中点の発生と応力の増大という二つの効果のために金型のクリアランスが極く小さい場合にはチッピングが起きやすくなる。

前田⁽¹⁰⁾は被加工材の型への凝着はポンチ引き上げの際のカス取り力の増大という形で影響すると考え、この増大したカス取り力によりポンチが破壊するとした。著者等の発見した炭化物の脱落によるピットの形成とか、凝着部のハクリにともなうミクロ的ピットの形成についてはふれていない。

著者等はこの欠陥部に応力集中して前述のような疲労破壊の起点を形成すると考えた。このように考えれば凝着が起らない場合でも例えば炭化物の脱落にともなう凹部の形成によっても疲労破壊の起点を形成すると思われ、またそのようなクラックが多数観察された。

VI. 結 論

プレス型のチッピング現象解明のため、ポンチ切刃部の組織変化および破面の状態を調査し、下記の事項が明らかになった。

- (1) 18-8 ステンレス鋼板を打ち抜いた場合はポンチ側面に被加工材が凝着し、これが再び剥離するという過程がくりかえされる。この過程中にポンチ側面に凹部が生成すると思われる。
- (2) 軟鋼板を打ち抜いた場合は、ポンチ側面に炭化物脱落にともなう摩耗孔ができる。
- (3) 上記(1)(2)の過程で発生した凹部はポンチ打ち抜き力および引き抜き力によって生じる圧縮引張り応力がくりかえし作用した場合に応力集中点となり、疲労破壊として成長し、さらに内部へ伝播して脆性破壊を起すものと考えられる。

終りにのぞみ本研究を終始御指導いただいた日立製作所本社根本博士ならびに日立研究所玉村建雄氏に深謝致します。

文 献

- (1) K.W.Burns and F.B.Pickering: J.Iron Steel Inst., **202**(1964), 906.
- (2) C.Crussard, et al.: J.Iron Steel Inst., **183**(1956), 146.
- (3) 中西昭一, 他: 鉄と鋼, **47**(1961), 581.
- (4) C.D.Beachem: Trans.ASM, **56**(1963), 319.
- (5) 徳田 昭: 金属学会誌, **24**(1960), 171.
- (6) 小寺沢良一: 機械の研究, **23**(1971), 337.
- (7) 原 沢夫: フラクトグラフィ 分科会報告, (1973), 142.
- (8) 木村君男, 他: 鉄と鋼, **55**(1969), 1051.
- (9) 金井良昭: 鉄と鋼, **56**(1970), 112.
- (10) 前田禎三: 塑性と加工, **14**(1973), 697.