

## 薄板のプレス焼入れ技術に関する研究（第2報）

小川 大介、佐藤 丈士

## Study on the press quenching technique of a steel sheet (II)

Daisuke Ogawa and Joji Sato

本研究では、プレス成形品を高強度化することを目的として、プレス加工と同時に焼入れを行うプレス焼入れ技術について、加工特性を評価した。穴抜き用金型を作製し、金型冷却時間（ホールド時間）による焼入れ特性について評価を行った。また、クリアランスの検討として、プレス焼入れ時におけるせん断面や形状精度について評価を行った。この結果、ホールド時間が5秒程度でも焼入れ硬度が得られ、ホールド時間を短くすることによって金型表面温度に約10℃の差が生じることが分かった。そして、クリアランスの最適条件として、小さいクリアランスの方が、だれ量も小さく、良好な切口面を得ることが確認できた。

## 1. はじめに

自動車などの輸送機器においては、環境問題から燃費向上を目的とした軽量化や、衝突安全性の向上を目的とした部品の高強度化・衝撃吸収性（高延性化）が求められている<sup>1)</sup>。このため、高強度が必要となる部品には浸炭、窒化など表面硬化処理が必要となり、コスト増だけでなく、熱処理ひずみも問題になっている。

そこで、鋼材の高強度化を目的として、プレス加工と焼入れを同時に行うプレス焼入れ技術（ダイクエンチプレス）が注目されている。低い成形荷重で、成形性の向上や高硬度化が可能となる利点を生かし、自動車の構造部品等に適用されつつある。

この加工法は、成形不良の解決や焼入れによる硬度の向上が見込まれるが、金型の温度上昇により焼入れ不足が発生し、品質の悪化など課題がある。そこで、冷却速度や加工中の部品や金型温度変化といったプレス焼入れの良否を左右する諸特性を把握する必要がある<sup>2)</sup>。

本研究は、プレス焼入れにおける種々の加工特性を評価することを目的として、昨年度作製した穴抜き用金型を用い、金型冷却時間の依存性やパンチとダイスとの隙間（クリアランス）条件による形状精度や切口面について評価を行った。

## 2. 実験

## 2. 1 被成形材

本実験に使用した被成形材は、80×80×t2mmの炭素工具鋼（SK85）を焼鈍したものである。表1に被成形材の成分を示す。

## 2. 2 プレス加工条件

実験に用いたプレス機および金型モデルを図1に示す。プレス機には、（株）放電精密加工研究所製の電動サーボプレス機（型番：ZENFormer MPS675DS）を用いた。金型冷却機構として、圧縮空気を利用するエアジェットクーラーを用いた。

表1 炭素工具鋼（SK85）成分（%）

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
0.82	0.23	0.41	0.016	0.005	0.02	0.02	0.11

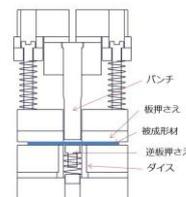


図1 プレス機および金型モデル

825℃の電気炉で加熱した被成形材をプレス速度：180mm/sにて穴抜きと同時に下死点停止制御（モーション制御）により、金型内で一定時間ホールドすることで、被成形材をプレス焼入れする実験を行った。

## 2. 2. 1 ホールド時間による評価

プレス焼入れの生産効率（サイクル数）に関する評価を行うため、金型冷却時間に関係する下死点停止時間（ホールド時間）が短くなることによる、プレス焼入れ特性の違いについて調査を行った。ホールド時間は、5、10、20、30、45、60秒として実験を行い、金型条件は、パンチ径：φ15.0mm、ダイス径：φ15.6mmを用いた。

## 2. 2. 2 クリアランスによる評価

穴抜き加工において、せん断切口面の状態と形状精度が特に重要視されている。せん断加工は、図2のようにパンチとダイスによりせん断加工を行い、所定の形状を得る加工法である。この場合、パンチとダイスの間には適当な隙間C（クリアランス）を与えておくことが重要である。クリアランスは、材質、板厚、材料硬さなどにより最適条件を選定しなくてはならない。図3にはせん断加工により得られる切口面を図式的に示した。せん断加工された切口面は、切削品のように一様ではなく、一

一般的にだれ、せん断面、破断面、バリ（かえり）によって構成されている。クリアランスによって、切口面に差異があり、クリアランスが大きいほどバリや破断面、だれが多くなる。逆に、クリアランスが過小の場合、せん断面が多くなりだれが少なくなる。そこで、冷間穴抜きとプレス焼入れ穴抜きの、最適クリアランスについて調査を行った。クリアランスとして、板厚比 5%、10%、15%を用い、切口面および形状への影響について評価を行った。

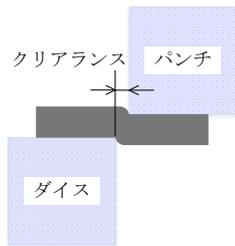


図2 せん断加工モデル

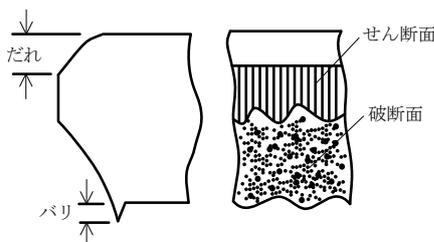


図3 せん断切口面モデル

## 2. 3 評価方法

被成形材の評価については、穴抜き加工した被成形材を切断、埋込みを行い、マイクロビッカース硬さ試験機によって断面硬度測定をHV0.2にて行った。また、切口面については、キーエンス（株）製デジタルマイクロスコープを用いて観察を行った。

形状測定は、直径を（株）ミットヨ製画像測定器QVH3-H606P1L-Cを用いて測定し、真円度については、（株）東京精密 ロンコム 52B-510を用いて、板厚の中心付近を測定した。

## 3. 結果および考察

### 3. 1 ホールド時間による評価

プレス焼入れ時間に係る条件として、下死点停止時間（ホールド時間）によって生じる素材の冷却特性について、評価を行った結果を図4に示す。

ホールド時間による、被成形材の硬度を評価した結果、5秒でも焼入れ硬度になっていることを確認した。また、ホールド時間が30秒以降は、被成形材の硬度が約880HVで推移していることが分かった。

次に、ホールド時間毎の金型表面温度の状態について

評価した結果を図5に示す。経過時間0秒については、金型初期状態温度である。ホールド時間を短くすることによって金型表面温度に約10℃の差が生じることが分かった。また、被成形材が接触した金型は、一時的に高温になるため、エアジェットクーラーを用いて強制冷却しているが、約2.4℃/minの冷却速度であることから、被成形材の金型接触時間を短くすることによって金型冷却サイクルを短くすることが可能であると考えられる。

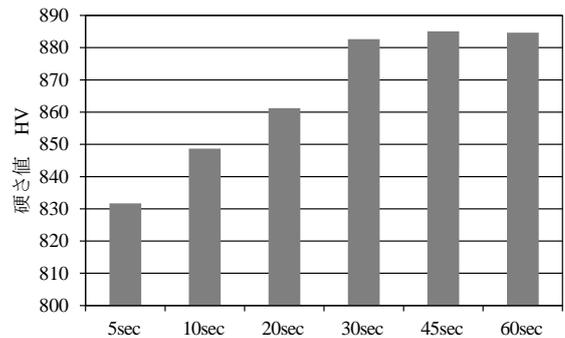


図4 硬度試験結果

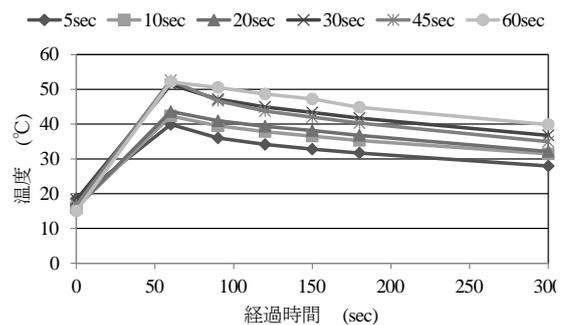


図5 金型表面温度測定結果

表2 直径および真円度測定結果

クリアランス (%)	15	10	5
直径 (mm)	14.872	14.879	14.887
真円度 (μm)	31.3	56.8	28.4

### 3. 2 クリアランスによる評価

パンチとダイスのクリアランスによる、穴抜き加工した直径と真円度の結果を表2に示す。

穴の直径は、パンチ径φ15.0mmで加工しているため、同径になるのが通例である。プレス焼入れによって直径が小さくなる要因として、鉄鋼材料の熱膨張係数が約 $11.1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であることから、オーステナイト域まで加熱した状態から、金型で穴抜きと同時に急冷して焼入れを行うため、被成形材の加熱時の熱膨張よりプレス焼入れによる収縮の方が大きいため、直径が小さくなったと考えられる。クリアランスを小さくすることによって、

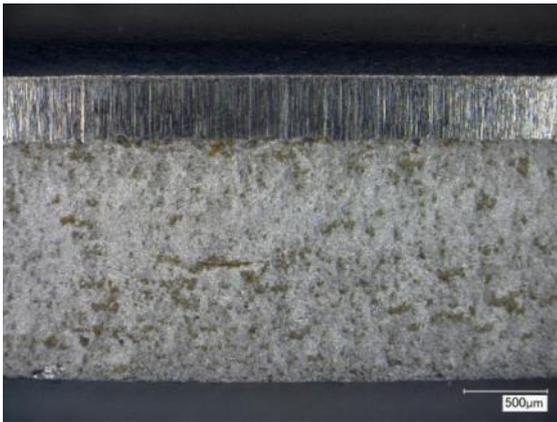
直径収縮を抑制することはできるが、直径で  $100\mu\text{m}$  程度の誤差が生じることが分かった。

真円度測定結果についてはクリアランス 10%時が一番大きくなっていることが分かった。せん断面の凹凸や熱収縮時の収縮量の違いなどが真円度の結果に影響されたと考えられる。

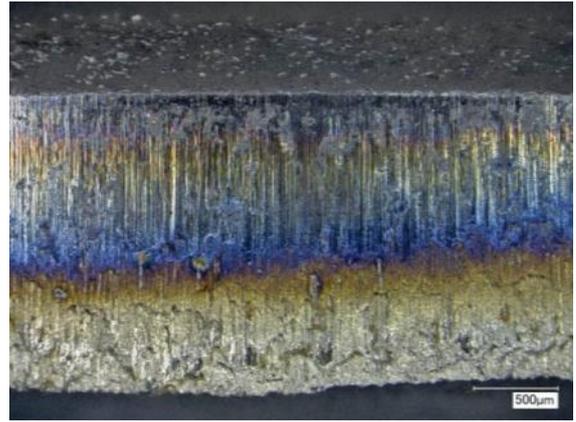
次に、冷間穴抜き加工後の切口面の観察結果を図6に示す。冷間穴抜き加工時における切口面は、クリアランスが 15%時は図3のような切口面が得られ、適正クリア

ランスであることが分かった。クリアランスを小さくするにつれ、二次せん断面が現れている。二次せん断面は、パンチとダイス刃先より発生するクラックが一致しないことが原因し、この現象が発生する場合は、金型にチッピングなどが発生する恐れがあるため最適とは言えない。

同じクリアランスの金型を用いて、プレス焼入れ穴抜き加工した切口面の観察結果を図7に示す。クリアランス 15%の場合、冷間穴抜き加工した切口面と比べ、せん断面長さが大きくなっている。しかし、被成形材をオー



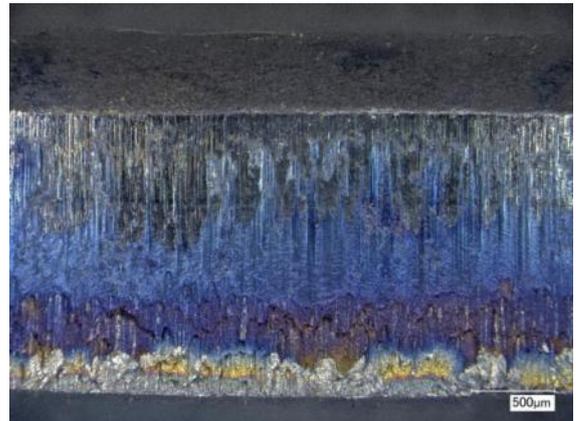
(A) クリアランス 15%



(A) クリアランス 15%



(B) クリアランス 10%

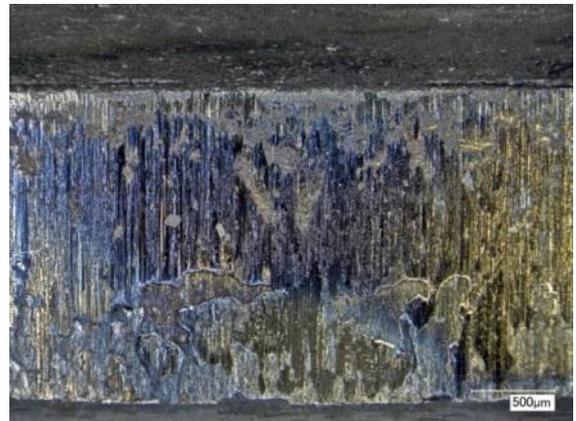


(B) クリアランス 10%



(C) クリアランス 5%

図6 冷間穴抜き切口面



(C) クリアランス 5%

図7 プレス焼入れ穴抜き切口面

ステナイト域まで加熱していることもあり、穴抜き時にパンチが接触と同時に被成形材が引き込まれ、だれが多く発生してしまうことが明らかとなった。クリアランスを小さくすることによって、だれが小さくなっていることを確認できた。また、クリアランス 5%については、切口面がせん断面になっているが、部分的には破断している箇所も見受けられた。

#### 4. まとめ

プレス成形品の高強度化することを目的に、プレス焼入れ穴抜き加工による特性評価を行った。プレス焼入れ時間を左右するホールド時間による検討と穴抜き加工精度に関する調査を行った。

ホールド時間によるプレス焼入れ特性については、5

秒程度でも十分に焼入れ硬さが得られることが確認できた。また、金型接触時間が短くなるため、金型への熱伝達温度が変わるため約 10℃の差が生じることが分かった。プレス焼入れ穴抜き加工における、クリアランスは小さい方が良好な切口面および形状精度が得られた。しかし、高温時に穴抜き加工を行うため、だれ量が多くなる結果となった。

#### 【参考文献】

- 1) 中村ら, 型技術者会議 2012 講演論文集, pp.94-95, 2012
- 2) 池内ら, 東京大学生産技術研究所 生産研究, pp.967-969, 2009