

薄板のプレス焼入れ技術に関する研究 (第1報)

小川 大介

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

Daisuke Ogawa

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、加工特性を検討した。打抜き用金型を作製し、金型冷却の有無による被成形材の冷却速度を評価することによって、部材の焼入れ特性について評価を行った。金型冷却方法として、一般的な圧縮空気を利用したエアジェットクーラを用いた。その結果、本金型冷却方法を用いることで水焼入れと同等の冷却効果があることが確認でき、被成形材の硬度および組織観察結果も良好な結果を得ることができた。

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材の高強度化・衝撃吸収性(高延性化)が求められている¹⁾。このため、高強度が必要となる部品には浸炭窒化などの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、自動車のボディ成形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²⁾。

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、打抜き金型を作製し、金型冷却の有無による実験を行った。被成形材の温度計測や硬度測定および組織観察を行い、金型冷却特性や加工条件の観点から加工特性評価を行った。

2. 実験

2.1 試験条件

実験には、(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、プレス速度(1~200mm/s)を変えることによるプレス荷重を計測した。また、被成形材および金型の温度計測には、熱電対を用いた。

被成形材は、80×80×2mmの炭素工具鋼(SK85)を焼鈍したものを用いた。成分を表1に示す。被成形材を、825℃の電気炉で10分間加熱し、打抜きと同時にスライドの下死点保持制御により、金型内で一定時間ホールドすることで、被成形材の冷却を行った。

図1に実験に使用した金型の形状を示す。パンチ径φ15mm、ダイス径φ15.6mmを用いた。

まず、金型材料の熱伝導率を利用し、プレス焼入れによる冷却効果を評価するため、一般的に使用される金型材料であるオーステナイト系ステンレス(SUS304)、合金工具鋼材(SK593)、機械構造用炭素鋼(S45C)、一般構造用圧延鋼材(SS400)をそれぞれ用い、比較を行った。

次に、金型冷却の有無による品質特性を評価するため、プレス焼入れによって発生する熱履歴を抑制する外部冷却機構として、金型の板押さえ部分に冷却用配管を加工し、圧縮空気を利用した(株)ミスミ社製のエアジェットクーラ(型番:PAJC450)を用いて金型冷却を行った。

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

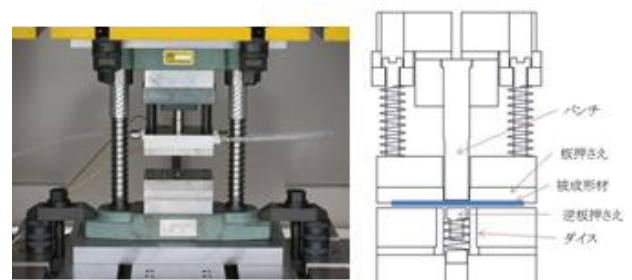


図1 金型断面モデル

2.2 評価方法

プレス焼入れ後の被成形材を切断、埋込みを行い、マイクロビッカース硬度試験機によって断面硬度測定をHV0.2にて行った。また、埋め込みした試料を5%硝酸アルコール溶液(ナイタール)によってエッチングし、断面の組織観察によって評価を行った。

3. 結果及び考察

3. 1 金型素材によるプレス焼入特性

熱伝導率が異なる金型材料 (SUS304、SKS93、S45C、SS400) を用いることによる、被成形材冷却特性の違いについて、検討を行った結果を、図 2 に示す。

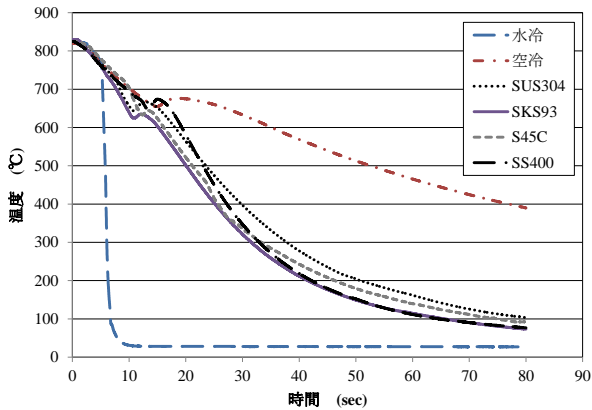


図 2 金型材料毎の被成形材冷却温度

熱伝導率の異なる金型材料によって被成形材の冷却特性を評価した結果、いずれの金型材料で冷却した場合も、約 2°C/s の冷却速度で温度が低下していることが得られた。しかし、金型材料の熱伝導率のみでは、焼入れ可能となる冷却速度に達しないことがわかった。

次に、プレス焼入れ後から 10 分経過後の金型表面温度の計測結果を表 2 に示す。

表 2 プレス焼入れ後の金型表面温度

金型材料	金型表面温度(°C)
SUS304	85.6
SKS93	76.0
S45C	68.6
SS400	58.6

熱伝導率の良い金型材料の方が、金型表面温度が低い結果が得られたが、初期温度と比べると依然として高い状態であることがわかった。プレス焼入れによって金型の熱履歴が影響することによって、製品硬度の低下を招くため、金型を一定温度に設定する必要性があり、生産性悪化の要因になると考えられる。

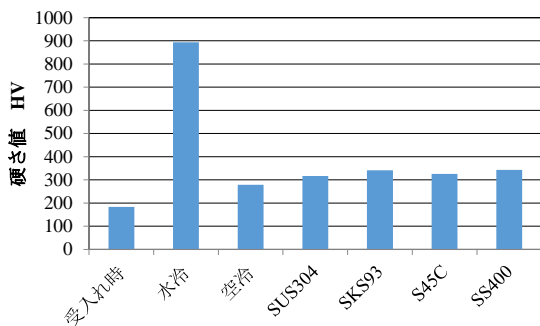


図 3 硬度計測結果

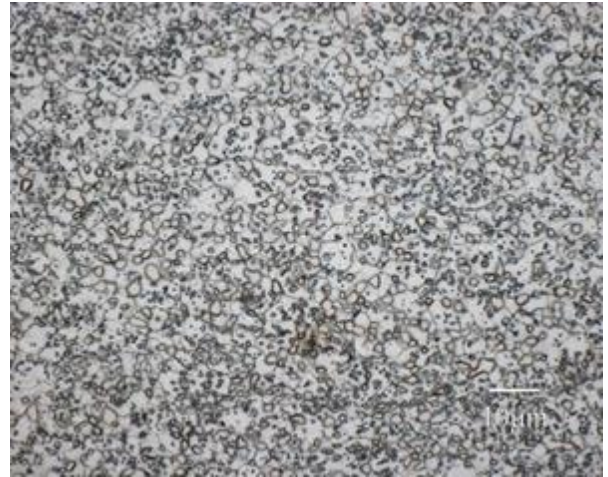


図 4 受入れ時の SK85 組織

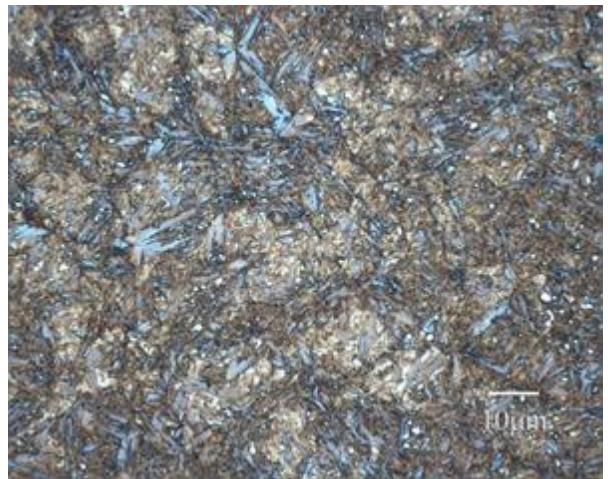


図 5 水冷による SK85 組織



図 6 金型材料 SS400 を用いた
プレス焼入れ SK85 組織

次に、断面硬度および組織観察結果を図 3~6 に示す。断面硬度は、受入れ時より硬くなっているが、水焼入れ時と比べると焼入れできているとは言えない状態である。また、組織観察結果からもわかるように、水冷時のようなマルテンサイト組織にならない結果となった。

3. 2 金型冷却によるプレス焼入特性

金型の冷却効果を向上させるため、圧縮空気を利用した冷風を金型内に流すことによって被成形材の冷却速度を早くする金型に設計を変更して実験を行った。金型の板押さえ部品に冷却用の貫通穴を加工し、エアジェットクーラを用いて、約-3℃冷却された圧縮空気を金型内に流した。金型冷却による被成形材の冷却温度計測結果を図7に示す。

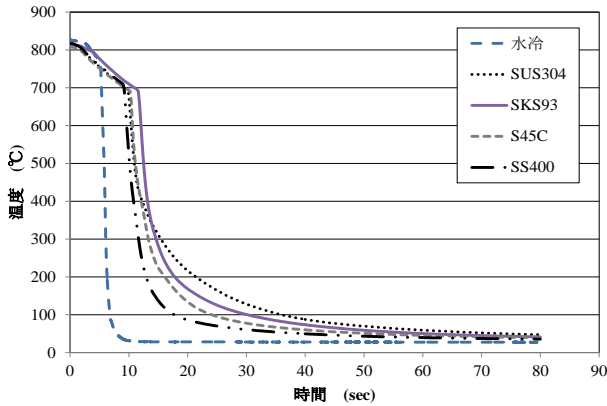


図7 金型冷却による被成形材冷却温度

圧縮空気による金型冷却機構を用いることで、被成形材の急速冷却が得られることが明らかとなった。金型が十分に冷やされていることから、水焼入れと同等の冷却

表3 金型冷却によるプレス焼入れ後の金型表面温度

板押さえ材料	金型表面温度(°C)
SUS304	15.6
SKS93	14.2
S45C	14.4
SS400	13.5

能力があることが確認できた。

次に、プレス焼入れ後から10分経過後の金型表面温度の計測結果を表3に示す。

金型を強制的に冷却することによって、被成形材の冷却速度が向上すると同時に、金型温度も初期状態温度に早く戻るようになった。つまり、金型冷却が早くなることによって、生産能力向上に寄与することが確認できた。

次に、硬さ試験結果及び組織観察結果を図8、9に示す。この結果より、金型冷却を用いたプレス焼入れによって、被成形材の断面硬さは水焼入れと同等の硬さを得ることができた。また、断面組織観察結果より、水焼入れと同様に、マルテンサイト組織を得ることができた。つまり、プレス焼入れ用金型に冷却機構が必要になることを確認でき、良好なプレス焼入特性を得ることが可能であることが明らかとなった。本実験において、圧縮空気を冷却用媒体としたが、熱伝達効率の高い水や油を用

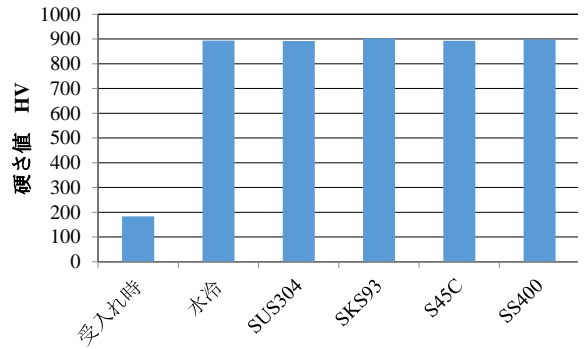


図8 金型冷却による被成形材断面硬さ

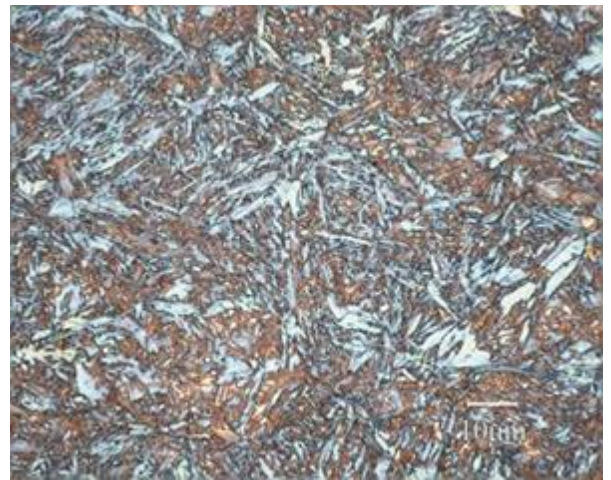


図9 金型冷却によるプレス焼入れSK85組織

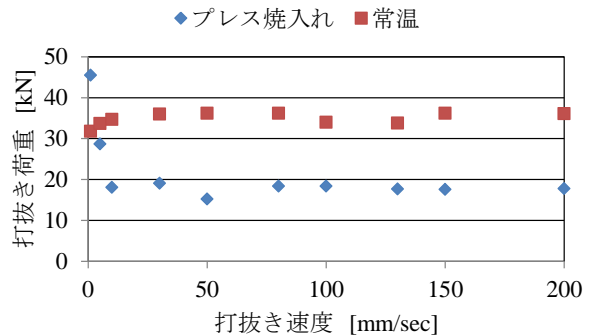
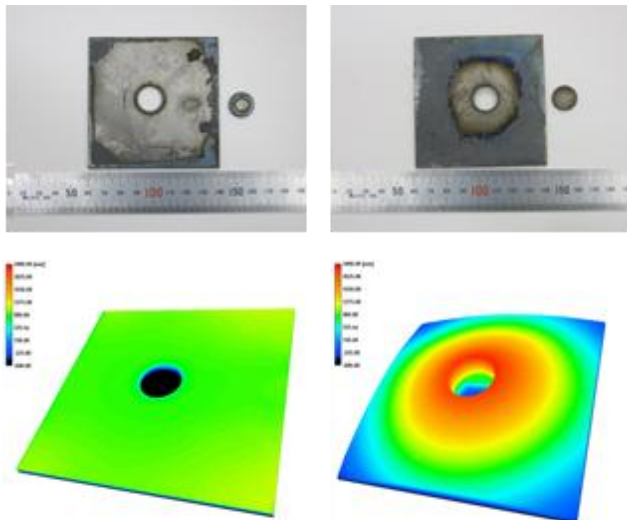


図10 打抜き荷重計測結果

いることにより、プレス焼入特性の向上および金型冷却時間の短縮につながると考えられる。

電動サーボプレス機の荷重データを計測することで、打抜き時のプレス荷重をプロットした結果を図10に示す。受入れ時の被成形材を常温で打抜いた時の荷重は、打抜き速度に依存せず、約35kN程度であったのに対し、オーステナイトまで加熱した被成形材をプレス焼入れすることで、打抜き荷重が約半分の18kN程度に低下する結果が得られた。これにより、鋼材が熱せられた状態では、打抜き荷重が低減できたことを確認できた。しかし、打抜き速度が10mm/s以下になると、打抜き速度より早



(a) 100mm/s (b) 50mm/s

図11 プレス焼入れによる打抜きサンプル

くプレス焼入れによって被成形材が硬くなり、打抜き荷重が上昇していることがわかる。

プレス焼入れによる打抜きを行った被成形材写真と(株)キーエンス社製のレーザー変位計(型番:KS-1100)を用いて形状計測した結果を図11に示す。

この結果より、100mm/sで打抜いた場合は、変形しないが、50mm/sで打ち抜いた場合、被成形材に湾曲変形が生じ、全体に焼入れができていないことがわかる。

打抜き速度を変えることによって、被成形材の変形の有無について評価した結果を表4に示す。

加熱した被成形材を急速に冷却するため、パンチ加工中にも素材は収縮する。そのため、ある一定のパンチ速

表4 打抜きによる被成形材変形有無

打抜き速度[mm/s]	1	5~50	50~200
変形(焼付)有無	無	有	無

度域において、素材の収縮が早く、パンチに焼嵌めされた状態となることから、素材を変形させてしまうことが、今回の実験で明らかとなった。これにより、打抜きプレス焼入れにおける適正な速度およびモーションが必要である。

4. まとめ

プレス成形品の高強度化することを目的に、プレス焼入れ技術による加工特性評価を行った。実験用金型として打抜き金型を試作し、金型材料および金型冷却機構による冷却特性を検討した。

常温金型材料による冷却特性では、十分なプレス焼入れを得ることができなかったが、金型冷却機構を付加することにより、水焼入れと同等な良好なプレス焼入特性を得ることが確認できた。また、打抜き特性の評価として、電動サーボプレス機の特性を活かした、速度設定に関して、最適速度およびモーション設定が必要となることがわかった。

【参考文献】

- 1) 中村克昭ら,型技術者会議 2012 講演論文集, pp94-95,2012
- 2) 池内健義ら,東京大学生産技術研究所 生産研究, pp967-969,2009