

平成19年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「安価でメンテナンス性に優れたプレス用金型（パンチ）の開発」

研究開発成果報告書

平成20年 3月

委託者 東北経済産業局

委託先 財団法人みやぎ産業振興機構

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標
 - 1-1-1 研究開発の背景（川下製造業者が抱える課題およびニーズ）
 - 1-1-2 本研究開発の実施内容
 - 1-1-3 本研究開発の目標値
- 1-2 研究体制
 - 1-2-1 研究組織
 - 1-2-2 管理体制
 - 1-2-3 管理者・研究者氏名
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論－（１）パンチの高寿命化とメンテナンス性の向上を同時に実現する、 新構造を持つプレス金型用パンチの設計技術開発

- 2-1 開発概要と本年度の目標値
- 2-2 実施内容
 - 2-2-1 抜きパンチの設計の概要
 - 2-2-2 抜きパンチ第1案の設計
 - 2-2-3 抜きパンチ第2案の設計
 - 2-2-4 抜きパンチ第3案の設計
 - 2-2-5 抜きパンチ第4案の設計
- 2-3 まとめ

第3章 本論－（２）新構造を持つプレス金型用パンチの製造技術開発とデータベース構築

- 3-1 開発概要と本年度の目標値
- 3-2 実施内容
 - 3-2-1 抜きパンチ第1案の加工
 - 3-2-1-1 製造工程
 - 3-2-1-2 設計上の寸法公差と三次元測定機による加工評価（第2案と共通）
 - 3-2-1-3 抜きパンチ第1案の価格
 - 3-2-2 抜きパンチ第2案の加工
 - 3-2-2-1 製造工程
 - 3-2-2-2 抜きパンチ第2案の価格
 - 3-2-3 抜きパンチ第3案の加工
 - 3-2-3-1 製造工程
 - 3-2-3-2 測定機による加工精度評価
 - 3-2-3-3 抜きパンチ第3案の価格
 - 3-2-4 抜きパンチ第4案の加工
 - 3-2-4-1 製造工程

- 3-2-4-2 測定機による加工精度評価
- 3-2-4-3 抜きパンチ第4案の価格
- 3-2-5 構造Dの検討
 - 3-2-5-1 構造D-1の検討
 - 3-2-5-2 構造D-2の検討
- 3-3 まとめ

第4章 本論一（3）3次元形状を持つ曲げパンチの低コスト・短納期製造技術開発

- 4-1 開発概要と本年度の目標値
- 4-2 熱処理、コーティングによる新構造曲げパンチの製造技術開発
- 4-3 放電プラズマ焼結機を用いた、焼結による新構造曲げパンチの製造技術開発
 - 4-3-1 放電プラズマ焼結機の概要
 - 4-3-2 SPSによる曲げパンチの焼結
 - 4-3-2-1 焼結技術の基礎実験
 - 4-3-2-2 接合技術の基礎実験
 - 4-3-2-3 焼結と接合の組み合わせの基礎実験
 - 4-3-2-4 焼結による曲げパンチの製造実験
 - 4-3-3 試作した曲げパンチの強度・耐久試験
- 4-4 まとめ

第5章 本論一（4）新構造抜きパンチ・曲げパンチの評価

- 5-1 開発概要と本年度の目標値
- 5-2 実施内容
 - 5-2-1 テスト用順送型の改造
 - 5-2-2 実機による新構造抜きパンチの評価方法と評価結果
 - 5-2-2-1 刃先寿命評価方法（耐摩耗性）と結果
 - 5-2-2-2 製品抜き面の評価方法と結果
 - 5-2-3 素材とコーティングの評価
 - 5-2-3-1 超硬合金とTiNコーティング（No.4）
 - 5-2-3-2 高速度工具鋼（SKH）とTiNコーティング（No.3）
 - 5-2-3-3 高速度工具鋼（DRM3）とキリンコート+TiCNコーティング（No.5）
 - 5-2-4 疲労試験機による新構造パンチの耐久試験
 - 5-2-4-1 第2案の耐久試験
 - 5-2-4-2 第3案の耐久試験
 - 5-2-4-3 第4案の耐久試験
 - 5-2-4-4 構造D-2の耐久試験
- 5-3 まとめ

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発の背景（川下製造業者が抱える課題およびニーズ）

川下企業ではトルクコンバータの部品製造と組立てを行なっている。部品は鋼板のプレス加工で製造されており、トランスファープレス機による異形状の抜き加工や3次元形状の曲げ加工が行われている。

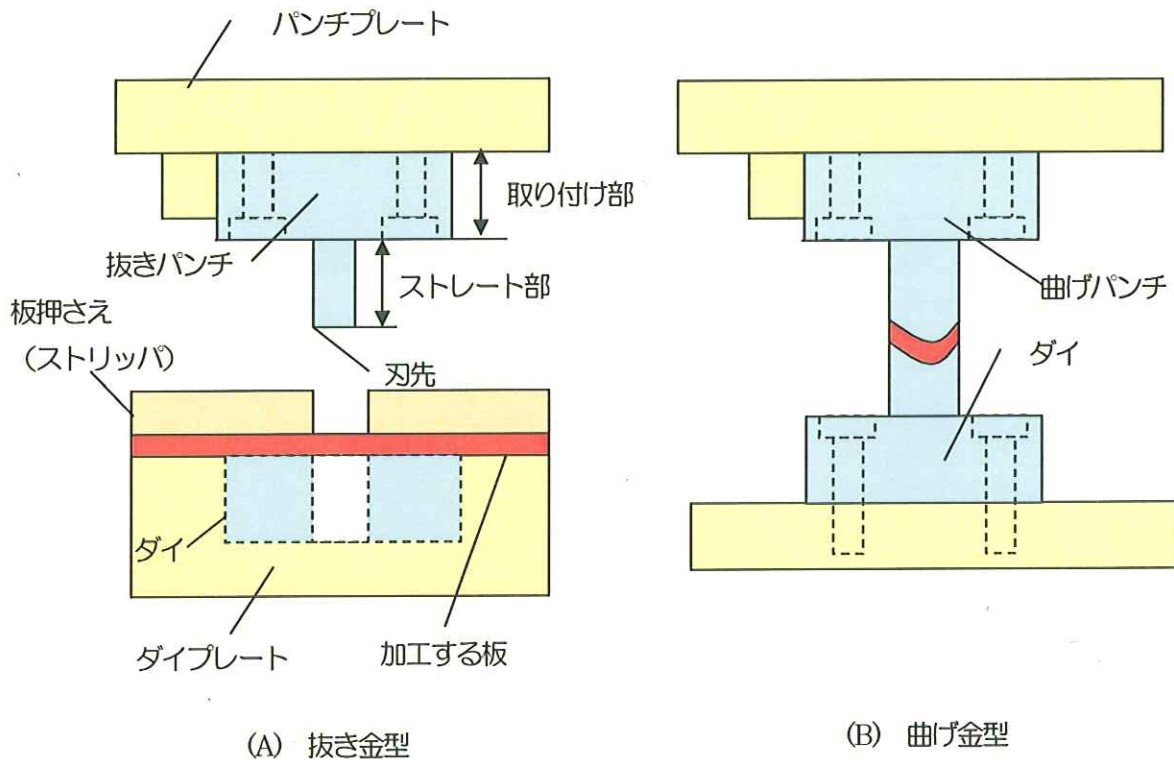


図1-1-1-1 プレス金型の概観

図1-1-1-1は一般的なプレス金型の概略図であり、川下企業の金型も同様の構造を持つが、以下に示す点が短納期化、低コスト化の阻害要因となっている。

- A) 抜き型のパンチ（以下、抜きパンチ）の寿命がダイと比較して短く、頻繁に刃先の再研磨などのメンテナンスを行っており、その作業も煩雑で時間がかかる。
- B) 3次元形状の曲げ型のパンチ（以下、曲げパンチ。また抜きパンチと曲げパンチを総称してパンチという）は、高硬度材料を3次元形状に加工するため、金型の製造費および納期が抜きパンチと比較して非常に大きい。

以上のことから、川下企業では金型にかかる費用は年間で数千万円に達するほか、今後は生産ラインを大幅に増やす計画があることから、金型に要する費用が増加することは確実である。また、メンテナンスの頻度と時間は、プレス機がフル稼働するうえで生産効率低下の大きな問題となるため、川下企業では、パンチの高寿命化とメンテナンス性の向上（ランニングコストを含めたトータルコストの削減）、および3次元形状を持つ曲げパンチ（およびダイ）の製造コストおよびランニングコストの低減、短納期化、といったニーズがある。

1-1-2 本研究開発の実施内容

上記のニーズに対し、本研究開発では川下企業で使われているブレード用の抜きパンチと曲げパンチをターゲットに、パンチの高寿命化とメンテナンス性の向上を同時に実現する構造を持つ、プレス金型用パンチの設計・製造技術の開発と、3次元形状曲げパンチの低コスト・短納期製造技術開発の2テーマを設定した。それぞれのサブテーマと具体的な実施内容は以下のとおりである。

○サブテーマ【1】：パンチの高寿命化とメンテナンス性の向上を同時に実現する、新構造のプレス金型用パンチの設計技術開発

本研究開発ではパンチの高寿命化、メンテナンス性の向上、ランニングコストの低減を同時に実現できる新しい構造（新構造という）のパンチを開発し、その設計技術を獲得する。

○サブテーマ【2】：新構造のプレス金型用パンチの製造技術開発とデータベース構築

新しい構造を持つパンチを実現するには μm オーダーの加工技術が要求されるが、一方で高精度加工は製造コストの増大につながる。本サブテーマでは参画機関の持つ加工技術を基に、高精度で低コスト化を実現する製造技術を開発する。新構造パンチの設計・製造条件は、データベース化して以後の製造に活用する。

○サブテーマ【3】：3次元形状を持つ新構造曲げパンチの低コスト・短納期製造技術開発

従来の3次元形状の曲げパンチは、焼入れされた高硬度鋼材を切削、研削、研磨の工程を経て加工するため、コストと納期がかかる。本研究開発では従来の除去加工とは全く異なり、コーティングや熱処理、または焼結による曲げパンチの製造技術を開発する。

【3-1】熱処理、コーティングによる曲げパンチの開発

【3-2】焼結による曲げパンチの開発

○サブテーマ【4】：新構造抜きパンチ・曲げパンチの評価

開発した抜きパンチおよび曲げパンチについて、実際に生産に使用する高速自動プレス機にセットし評価を行う。

1-1-3 本研究開発の目標値

抜きパンチ：

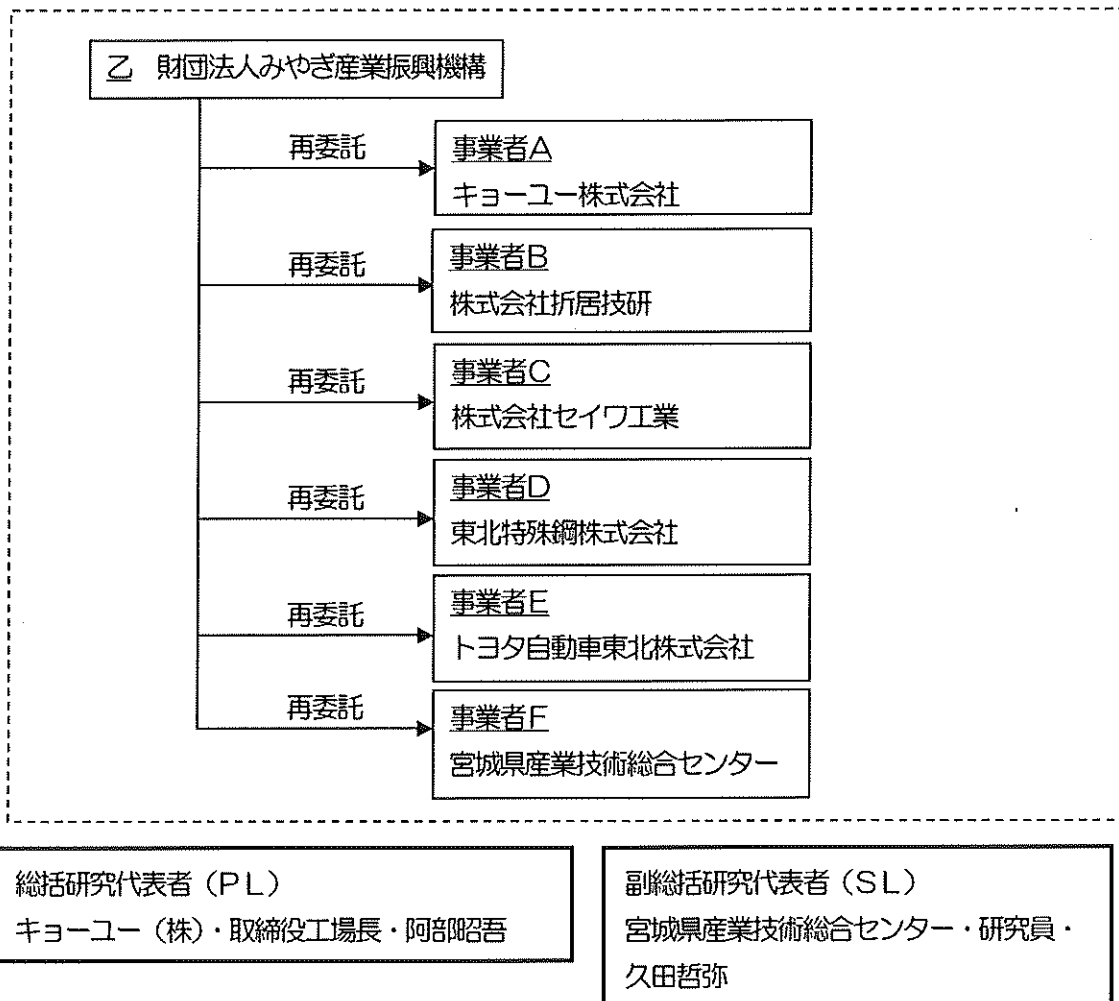
1. 新構造パンチの製造費が従来品の製造費と同等であること。
2. 従来の4倍の刃先寿命で、年間のランニングコストが従来品の25%以下を達成できること。
3. 刃先のメンテナンス作業が容易で現場の作業員が行えること。作業が15分以内で完了できること。
4. 抜きパンチの寿命が3500万ショット以上。

曲げパンチ：

5. 従来の曲げパンチの半分程度の製造費であること。
6. 従来品と同等の刃先の耐久性を持つこと。
7. 従来品の1/5以下の期間で製造できること。

1-2 研究体制

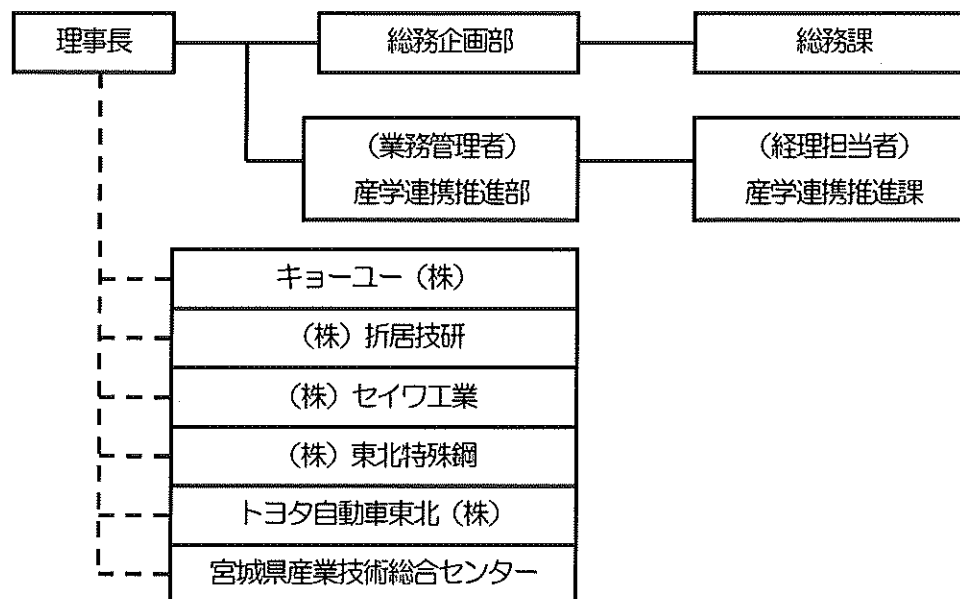
1-2-1 研究組織



1-2-2 管理体制

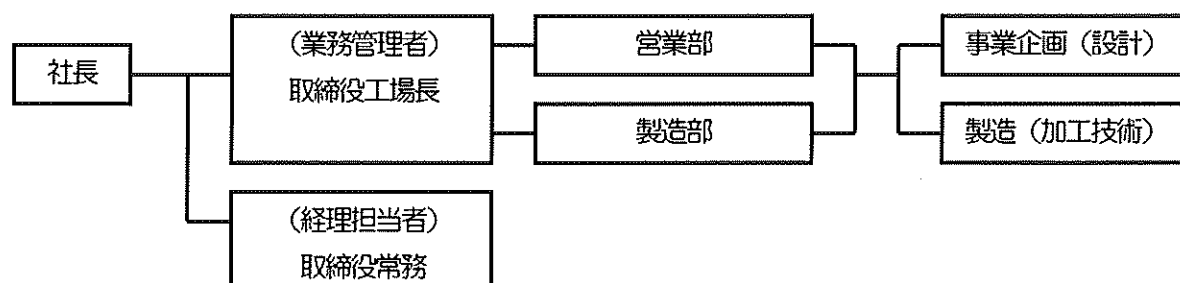
①事業管理者

[財団法人みやぎ産業振興機構]

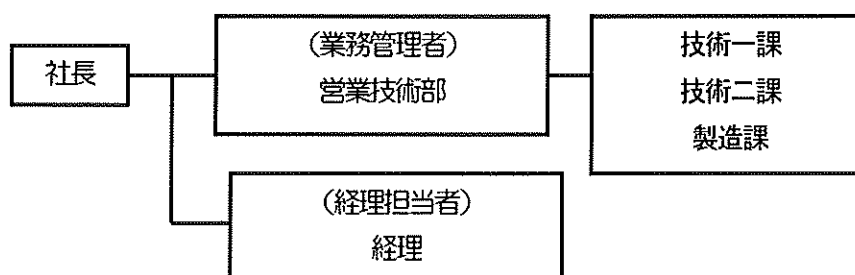


②再委託先

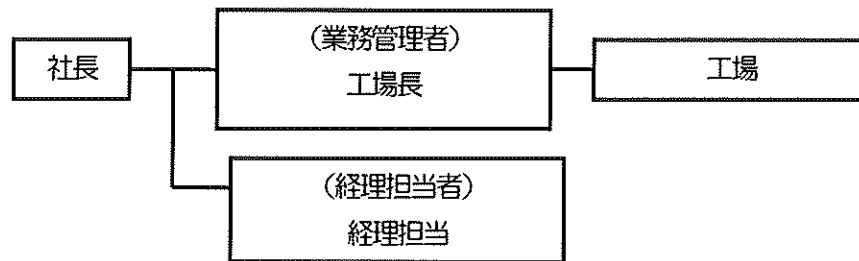
キョーユー株式会社



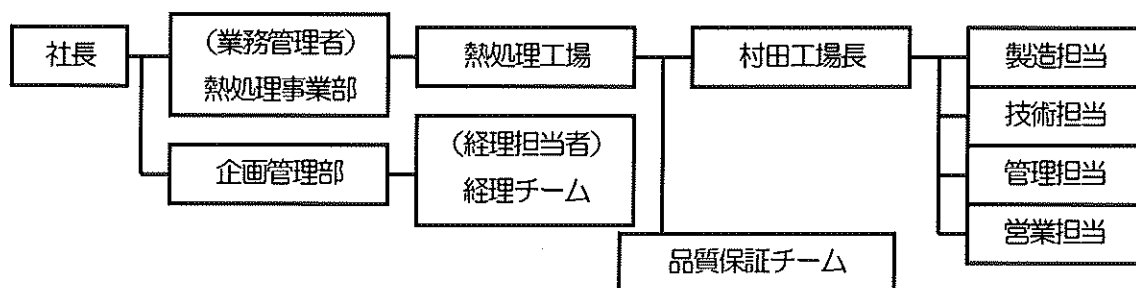
株式会社折居技研



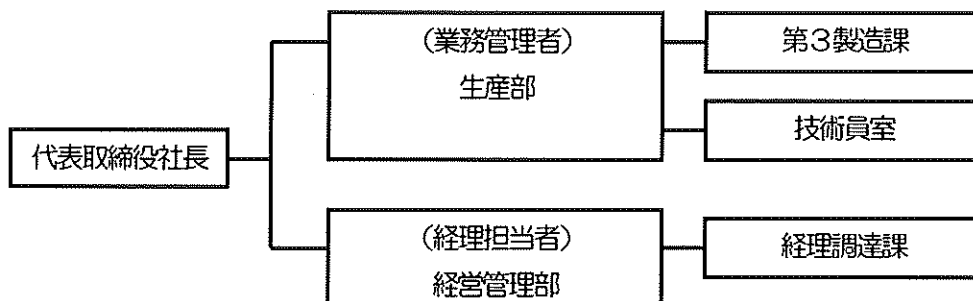
株式会社セイワ工業



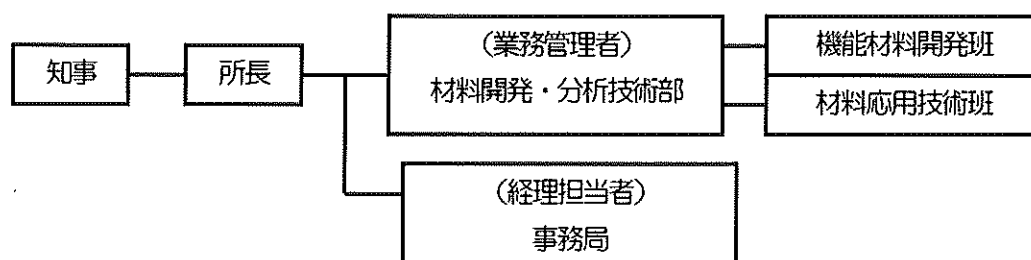
東北特殊鋼株式会社



川下企業株式会社



宮城県産業技術総合センター



1-2-3 管理者・研究者氏名

【事業管理者】 財団法人みやぎ産業振興機構

管理員

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
吉田 徹	産学連携推進部 部長	⑤
伊藤 利彦	産学連携推進部 産学連携推進課 参事	⑤
引地 智	産学連携推進部 産学連携推進課 テクノコーディネーター	⑤
千葉 賢	産学連携推進部 産学連携推進課 主事	⑤

【再委託先】※研究員のみ

キョーヨー株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
阿部 昭吾	取締役工場長	①、②
早坂 健	リーダー	①、②
高橋 廣行	営業部・課長	①、②
大沼 孝幸	専任課長	①、②
紺野 博希	製造・係長	②
佐藤 俊哉	製造・技術員	②
佐々木 直人	製造・技術員	②
工藤 清志	製造3課・課長	②
及川 義太郎	製造・リーダー	②
佐藤 雅宏	製造・リーダー	②
境 弘志	製造・係長	②
早坂 博通	製造・技術員	②
永浦 健一	製造・技術員	②
赤木 友和	製造・技術員	②
齋藤 真人	製造・技術員	②
佐藤 次雄	製造・技術員	②

株式会社折居技研

氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
明石 秀司	営業技術部・部長	①、②
川名 一浩	営業技術一課・課長	①
菅原 美喜男	営業技術二課・課長	②
由利 正彦	製造課・研究員	②
直江 春一	製造課・研究員	②
及川 俊一	製造課・研究員	②
福田 直実	製造課・研究員	②

株式会社セイワ工業

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
佐々木 浩視	工場長	①、②
館野 俊也	工場・研究員	①、②
伊藤 芳広	工場・研究員	①、②

東北特殊鋼株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
小野寺 敏	熱処理事業部 部長	③－1
金子 浩幸	熱処理工場 村田工場・研究員	③－1
佐々 達郎	熱処理工場 村田工場・研究員	③－1
小原 義広	熱処理工場 村田工場・研究員	③－1

川下企業株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
伊藤 義典	技術員室・主査	④
高橋 隆一	技術員室・技術員	④
志田 清三	第3製造課・技術員	④
中川 勉	第3製造課・技術員	④
金野 宣敏	第3製造課・技術員	④

宮城県産業技術総合センター

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
久田 哲弥	材料開発・分析技術部 材料応用技術班・研究員	①
和嶋 直	材料開発・分析技術部 材料応用技術班・副主任研究員	①
家口 心	材料開発・分析技術部 材料応用技術班・技師	①
斎藤 雅弘	材料開発・分析技術部 機能材料開発班・主任研究員	③－2
阿部 一彦	材料開発・分析技術部 機能材料開発班・技師	③－2
大山 礼	材料開発・分析技術部 機能材料開発班・技師	①、③－2

1-3 成果概要

サブテーマ【1】：パンチの高寿命化とメンテナンス性の向上を同時に実現する、新構造のプレス金型用パンチの設計技術開発

H18年度の開発で、抜き形状が単純なパンチで十分な耐久性が得られることが明らかとなったため、H19年度では実際のトルクコンバータ部品のパンチと同形状のものを試作した。なお寸法上の制約のため、H18年度で採用した構造を一部変更し、H19年度では4種類の新構造パンチを設計した。

サブテーマ【2】：新構造を持つプレス金型用パンチの製造技術開発とデータベース構築
製造費の目標（従来品と同等の製造費）については、最小で従来品の80%を切るものもあり、概ね目標以上の高い成果を上げているが、ランニングコストの目標値をクリアできなかった。

サブテーマ【3】：3次元形状曲げパンチの低コスト・短納期製造技術開発

【3-1】熱処理、コーティングによる曲げパンチの開発

熱処理による曲げパンチ作製で、ある程度強度を持つ曲げパンチの製造を可能にした。本方法では、後述の焼結による方法と比較して低コストで製造できる。

【3-2】焼結による曲げパンチの開発

放電プラズマ焼結による最適焼結条件を確立したが、強度試験の結果、横方向の荷重に弱いことがわかった。その対策として、放電プラズマ焼結機による接合技術を活用し、横荷重の強度を持たせることが可能になった。

試作した曲げパンチについて、引張圧縮試験機による強度試験、また機械的特性評価試験機による耐久試験を行い、焼結にて製造したパンチで強度的な目標を達成することができた。ただし、いずれの方法でも材料費が高く、製造費の低減目標は達成できていない。

サブテーマ【4】：新構造抜きパンチ・曲げパンチの評価

試作したパンチについて、①新構造の耐久性は宮城県産業技術総合センターの所有する疲労試験機を使って、また、②刃先の耐久性は川下企業の高速自動プレス機を使って評価した。

①については試験に多くの時間が必要なことと、装置の不具合が発生したことなどにより、2種類の試験にとどまった。その結果、一方は目標の18万サイクルで破壊したが、他方は1200万サイクルまで破壊しない結果が得られた。開発期間中に試験機の不調によりテストを中断したが、その後のテストで目標値である3500万サイクルを達成している。

②については構造や刃先のコーティングの違いなど5種類について鋼板の打ち抜きテストを行った。その結果、2種のパンチで刃先に欠けが見られたが、テスト回数が少ないこともあり刃先の磨耗や抜きダレはほとんど見られなかった。本テストも今後継続して実施する予定である。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

久田 哲弥 所属：宮城県産業技術総合センター 材料開発・分析技術部

電話：022-377-8700

Eメール： hisada-te954@pref-miyagi.or.jp

第2章 本論— (1) パンチの高寿命化とメンテナンス性の向上を同時に実現する、新構造を持つプレス金型用パンチの設計技術開発

2-1 開発概要と本年度の目標値

プレスで使われる抜き・曲げパンチには刃先に耐摩耗性、他の部分には靱性が求められているが、一般的な熱処理では両者を満足することができない。したがって通常、折損しないように靱性を持たせるため刃先の硬さが十分でなく、頻繁な刃先のメンテナンス（再研磨）が必要となっている。特にプレスによる自動車部品製造においては金型が大型であり、かつメンテナンスには金型をプレス機から取り出す必要があり、その作業は繁雑で時間がかかる。

本研究開発では、パンチの高寿命化、メンテナンス性の向上、ランニングコストの低減を同時に実現できる構造（新構造）を持つパンチを提案する。

新構造パンチの開発において、最終年度である平成19年度の数値目標は以下のとおりである。

- ・ 新構造パンチの製造費が従来品と同等。
- ・ 従来の4倍の刃先寿命で、年間のランニングコストが従来品の25%以下。
- ・ 刃先のメンテナンス作業が容易で、15分以内で行えること。
- ・ 抜きパンチの寿命が3500万ショット以上。

本サブテーマでは目標を達成するために、新構造パンチの設計技術からアプローチする。具体的には川上企業が持つ精密プレス金型や精密モールド金型の設計技術、また宮城県産業技術総合センターの持つシミュレーション技術を活用して、パンチの最適設計技術を開発する。

2-2 実施内容

2-2-1 抜きパンチの設計の概要

H18年度は、図2-2-1-1 (a) に示す単純な抜き形状の新構造を持つパンチについて、2種類の構造で設計・試作し、プレス機でのテストを行った。その結果、安定したプレス加工が可能であることがわかった。

しかし通常のプレス部品はこのような単純な抜き形状ではないため、川下企業から実際の部品と同じ抜き形状の新構造パンチを試作して評価すべきであるとの意見が出された。これを受け H19年度は、川下企業で製造しているトルクコンバータ部品の中で、サイズが小さくコーナーR部の消耗が激しいなど、最も過酷な条件で使用されているパンチを対象に、開発を進めることとした。図2-2-1-1 (b) にH19年度で試作したパンチの抜き形状を示す。

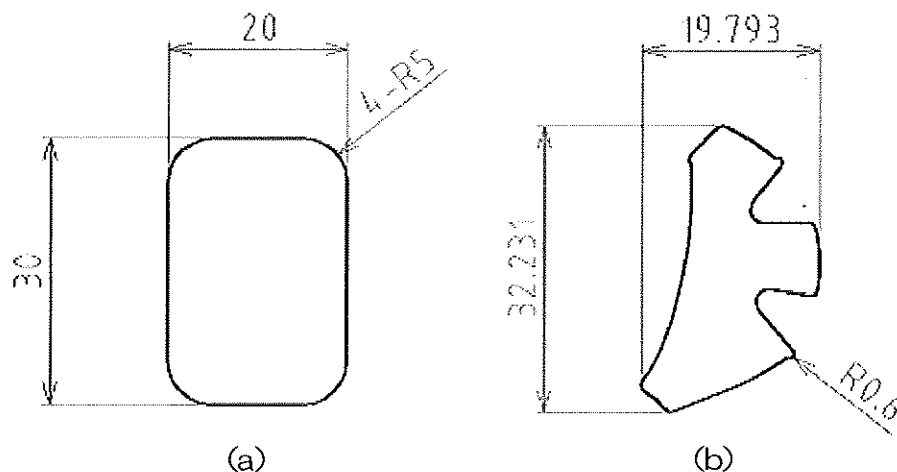


図2-2-1-1 試作したパンチの抜き形状 (a)H18年度、(b)H19年度

H18年度で採用した新構造は2種類であるが、ある構造においては、複雑な抜き形状を持つパンチの場合、構造的に制限があるため十分な強度が得られない。したがって今年度は、新たな構造を含め計3種類の構造を設計した。表2-2-1-1に設計・試作した新構造/パンチの仕様を示す。

表2-2-1-1 新構造/パンチの仕様

	構造	素材
第1案	A	合金工具鋼、超硬合金
第2案	A	合金工具鋼、超硬合金
第3案	B	ダイス鋼、超硬合金、高速度工具鋼（2種）
第4案	C	ダイス鋼、高速度工具鋼
従来品	—	ダイス鋼、高速度工具鋼

2-2-2 抜きパンチ第1案の設計

抜きパンチ第1案は、H18年度に設計した構造Aを採用した。本構造は、当初5/1000mm～1/100mmの寸法精度で設計していたが、本年度は5/1000mm以下の公差に設計変更した。

2-2-3 抜きパンチ第2案の設計

第2案は、第1案と同じ構造Aである。ただし構造の一部が第1案と異なっており、その強度不足が懸念されたためコンピュータシミュレーションによる強度解析を行った。その結果、第1案と共通する部分の強度は問題なかったものの、異なる形状の部分でプレス時に大きな荷重がかかることがわかり、対策が必要であることがわかった。

2-2-4 抜きパンチ第3案の設計

本案で採用した構造Bは、H19年度に新たに設計した構造である。本構造の公差を2/1000mm～5/1000mmとした。本構造でも強度的な問題点が指摘されたため、コンピュータシミュレーションによる強度解析を実施し、本構造で十分な強度が得られることがわかった。

2-2-5 抜きパンチ第4案の設計

本案で採用した構造Cも、H19年度に新たに設計した構造である。本案の利点は、製造コストの一部が第1～3案と比較して安くできることであるが、使用する材質によって加工が難しくなる問題点もある。

2-3 まとめ

新構造/パンチ設計において、以下の対策を採った。

- ・ 設計において、最適な素材の選択、および形状の単純化とコンパクト化による加工工程の削減、コストの高い加工工程の排除を可能にする形状にすることで、製造コストの低減を実現した。
 - ・ 加工の寸法精度を高めることにより、パンチの高寿命化とメンテナンスの容易性を実現した。
- その結果、第1案から第4案の製造費は、いずれも従来品と同等または最大で80%以下まで削減することができ、目標値以上の成果が得られた。（詳細は第3章を参照のこと）。しかしランニングコストについて計算したところ、目標は達成できていないことがわかった。

今後は以下の内容について取り組む。

- ・ 疲労試験や実機試験を継続して行い、設計の妥当性について検証する。
- ・ 検証の結果から不具合箇所の特定と修正し、早期に新構造抜きパンチの実用化を目指す。

第3章 本論一（2）新構造を持つプレス金型用パンチの製造技術開発とデータベース構築

3-1 開発概要と本年度の目標値

新構造パンチは高い寸法精度で製作することによりパンチ寿命の向上が見込めるが、一方で高精度加工はリードタイムとコストの増大が懸念される。川下企業ではランニングコストを含めたトータルコストの低減が要望されており、製造費のコストダウンが大きな課題となる。

本サブテーマでは構造や刃先の表面粗さが寿命に及ぼす影響を調査して、加工コストとの兼ね合いから、以下の目標を達成できる新構造パンチの最適な製造工程および加工条件を確立する。

- ・ 新構造パンチの製造費が従来品と同等。
- ・ 従来の4倍の刃先寿命で、年間のランニングコストが従来品の25%以下。
- ・ 刃先のメンテナンス作業が容易で、15分以内で行えること。
- ・ 抜きパンチの寿命が3500万ショット以上。

3-2 実施内容

3-2-1 抜きパンチ第1案の加工

3-2-1-1 製造工程

第1案のパンチの製造工程は表3-2-1-1の工程で行った。工程No.2-2・3・5はダイヤモンド砥石にて研削加工で仕上げを行った。また工程No.2-6では、全稜線を面取りしてエッジを無くし、チッピングやクラック等の防止対策を施した。なお工程No.2-2およびNo.2-4にて、表面粗さに注意し加工条件を決定し加工を行った為、切刃側面のラップ仕上げを不要とした。

工程No.3-3の外形仕上げ加工では、寸法および面粗度に注意して研削加工を行った。工程No.3-4の加工では、寸法精度のほか表面粗さRa0.8 μ m以下に仕上げる条件で加工を行った。

表3-2-1-1 抜きパンチ第1案の製造工程

工程No.	内容	加工時間	使用機械・その他
1-1	切削による粗加工（前加工）	0.7 時間	フライス盤
1-2	熱処理	6.0 時間	焼入れ・焼戻し
1-3	研削による6面及び溝の仕上げ	3.5 時間	平面研削盤・成形研削盤
1-4	ワイヤー放電加工による角穴および丸穴の仕上げ	4.2 時間	ワイヤー放電加工機
1-5	仕上げ	0.5 時間	手仕上げ
2-1	素材形成	5.0 時間	前加工～焼結
2-2	研削加工による仕上げ（6面）	0.7 時間	平面研削盤
2-3	研削加工による仕上げ（段加工）	2.7 時間	成形研削盤
2-4	ワイヤー放電加工による形状の仕上げ	6.0 時間	ワイヤー放電加工機
2-5	研削加工による形状部の仕上げ	1.0 時間	CNC 光学式精密微研削盤
2-6	仕上げ（面取り等）	0.5 時間	手仕上げ
3-1	切削による粗加工（前加工）	2.0 時間	フライス盤
3-2	熱処理	6.0 時間	焼入れ・焼戻し
3-3	研削による外形面の仕上げ	2.3 時間	平面研削盤
3-4	ワイヤー放電加工による角穴の仕上げ（2箇所）	4.2 時間	ワイヤー放電加工機

3-2-1-2 設計上の寸法公差と三次元測定機による加工評価（第2案と共通）

初期設計の公差の5/1000mm～1/100mmでは不具合が発生したため、5/1000mmの設計変更を行い製作した。加工精度の検証はH18年度に導入した三次元測定機を活用した。その結果、図面に記載の公差内に全て収まっていることが確認された。またテスト用順送型のダイ（ダイ入子）も製作し測定を行った結果、設計図面寸法通りに製作できており刃先とダイのクリアランス（0.12mm）がほぼ全周均一（±0.01以内）であることを確認した。

3-2-1-3 抜きパンチ第1案の価格

上記の工程から新構造パンチ第1案の販売価格を算出した結果、従来品の99.4%であり、従来品と同等の価格という目標値をクリアしている。

3-2-2 抜きパンチ第2案の加工

3-2-2-1 製造工程

新構造抜きパンチ第2案における製造工程を表3-2-2-1に示す。工程No.1-4のワイヤー放電加工では、凹部形状および角穴の加工を行ったが、表面粗さRa0.8μm以下に仕上げることに注意し、加工条件を決定し加工を行った。工程No.2-2・2-3・2-5の研削仕上げ加工は、第1案同様、ダイヤモンド砥石にて研削加工で仕上げた。工程No.2-6では、全稜線を面取りしてエッジを無くし、チッピングやクラック等の防止対策を施した。

工程No.2-2およびNo.2-4にて、表面粗さに注意し加工条件を決定し加工を行った為、切刃側面のラップ仕上げは行わなかった。なお工程No.3-1～3-4は第1案と共通である。

表3-2-2-1 抜きパンチ第2案の製造工程

工程No.	内容	加工時間	使用機械・その他
1-1	切削による粗加工（前加工）	1.0時間	フライス盤
1-2	熱処理	6.0時間	焼入れ・焼戻し
1-3	研削による6面及び溝の仕上げ	1.5時間	平面研削盤・成形研削盤
1-4	ワイヤー放電加工による角穴の仕上げ	4.5時間	ワイヤー放電加工機
1-5	仕上げ	0.5時間	手仕上げ
2-1	素材形成	5.0時間	前加工～焼結
2-2	研削加工による仕上げ（6面）	0.7時間	平面研削盤
2-3	研削加工による仕上げ（段加工）	4.2時間	成形研削盤
2-4	ワイヤー放電加工による形状の仕上げ	6.0時間	ワイヤー放電加工機
2-5	研削加工による形状部の仕上げ	1.0時間	CNC光学式精密微研削盤
2-6	仕上げ（面取り等）	0.5時間	手仕上げ
3-1	切削による粗加工（前加工）	2.0時間	フライス盤
3-2	熱処理	6.0時間	焼入れ・焼戻し
3-3	研削による外形面の仕上げ	2.3時間	平面研削盤
3-4	ワイヤー放電加工による角穴の仕上げ （2箇所）	4.2時間	ワイヤー放電加工機

3-2-2-2 抜きパンチ第2案の価格

以上の結果から、新構造パンチ第2案の販売価格を算出した。その結果、従来品の95.4%と、

目標である従来品と同等の価格をクリアした。

3-2-3 抜きパンチ第3案の加工

本案では、構造の関係で寸法誤差が 5/1000mm~1/100mm に収まるように加工した。また、さらなる精度が必要なところは 5/1000mm 以内を狙って加工を試みた。H18 年度はワイヤー放電加工やマシニングセンタで加工精度の追及を試みたが、超硬合金の場合十分な精度が得られないことから、本年度は成形研削盤を導入することで、研削による精度の向上が可能になった。

3-2-3-1 製造工程

第3案の新構造パンチにおいて、製造工程その1は以下の通りである。工程1-5の外形のワイヤー仕上げではNC加工機を活用することで無人化と低コスト化を図っている。また焼入れしたパンチをプレス加工で使ったとき、発生する熱で寸法変化や硬度増加(耐久性の低下)等を起こす。これを防ぐために工程3の熱処理(サブゼロ処理)を行った。

H18年度では刃先形状が単純であったため平面研削盤で仕上げ加工(工程No.2-3、2-5、3-3、3-5)を行ったが、今回は複雑な形状も加工でき、高い位置決め精度を持つ成形研削盤(H19年度導入)を活用した。

表3-2-3-1 抜きパンチ第3案の製造工程

工程No.	内容	加工時間	使用設備、その他
1-1	設計・PG	2.0時間	
1-2	粗加工	1.0時間	フライス
1-3	熱処理加工	24時間	焼入れ、焼き戻し(サブゼロ)
1-4	仕上げ加工	1.0時間	成形研削盤、NCフライス
1-5	ワイヤー加工	16時間	ワイヤカット加工機
1-6	仕上げ加工	2.0時間	成形研削盤、NCフライス、マシニングセンタ
1-7	最終仕上げ	1.0時間	手仕上げ(合わせ、みがき)
2-1	粗加工	1.0時間	フライス
2-2	熱処理	24.0時間	焼入れ、焼き戻し(サブゼロ)
2-3	仕上げ加工	1.0時間	成形研削盤、NCフライス
2-4	ワイヤー加工	14時間	ワイヤカット加工機
2-5	仕上げ加工	4.0時間	成形研削盤、NCフライス、マシニングセンタ
2-6	最終仕上げ	2.0時間	手仕上げ(合わせ、みがき)
2-7	検査	1.0時間	3次元測定機等
3-1	粗加工	1.0時間	フライス
3-2	熱処理加工	24時間	焼入れ、焼き戻し(サブゼロ)
3-3	仕上げ加工	1.0時間	成形研削盤、NCフライス
3-4	ワイヤー加工	8.0時間	ワイヤカット加工機
3-5	仕上げ加工	2.0時間	成形研削盤、NCフライス、マシニングセンタ
3-6	最終仕上げ	1.0時間	手仕上げ(合わせ、みがき)
3-7	検査	1.0時間	3次元測定機等

3-2-3-2 測定機による加工精度評価

第3案は、第1案や第2案と比較して構造が単純であるため、画像処理で形状を評価できる測定機で加工精度を評価した。その結果、加工精度の狙い値(5/1000mm)に対して一部公差をオーバーしている箇所があるが、概ね狙い値以下の加工精度が得られている。

3-2-3-3 抜きパンチ第3案の価格

今回試作した新構造/パンチ第2案の販売価格は、高速度工具鋼で76.4%であり、大幅に目標値をクリアできた。

3-2-4 抜きパンチ第4案の加工

本案では、第3案と同様に寸法誤差が5/1000mm~1/100mmに収まるように加工したほか、導入した成形研削盤で加工することで精度の向上を図った。

3-2-4-1 製造工程

第4案の新構造/パンチの製造工程は以下のとおりで、ほぼ第3案と同じである。

表3-2-4-1 抜きパンチ第4案の製造工程

工程No.	内容	加工時間	使用設備、その他
1-1	設計・PG	2.0時間	
1-2	粗加工	1.0時間	フライス
1-3	熱処理加工	24時間	焼入れ、焼き戻し(サブゼロ)
1-4	仕上げ加工	2.0時間	成形研削盤、NCフライス
1-5	ワイヤー加工	8.0時間	ワイヤカット加工機
1-6	仕上げ加工	2.0時間	成形研削盤、NCフライス、マシニングセンタ
1-7	最終仕上げ	1.0時間	手仕上げ(合わせ、みがき)
1-8	検査	1.5時間	3次元測定機等
2-1	粗加工	1.0時間	フライス
2-2	熱処理加工	24時間	焼入れ、焼き戻し(サブゼロ)
2-3	仕上げ加工	2.0時間	成形研削盤、NCフライス
2-4	ワイヤー加工	12時間	ワイヤカット加工機
2-5	仕上げ加工	2.0時間	成形研削盤、NCフライス、マシニングセンタ
2-6	最終仕上げ	1.0時間	手仕上げ(合わせ、みがき)
3-1	粗加工	1.0時間	フライス
3-2	熱処理加工	24時間	焼入れ、焼き戻し(サブゼロ)
3-3	仕上げ加工	2.0時間	成形研削盤、NCフライス
3-4	ワイヤー加工	16時間	ワイヤカット加工機
3-5	仕上げ加工	1.0時間	成形研削盤、NCフライス、マシニングセンタ
3-6	最終仕上げ	1.0時間	手仕上げ(合わせ、みがき)
3-4	検査	1.0時間	3次元測定機等

3-2-4-2 測定機による加工精度評価

第3案と同様に、画像処理を使った測定機を活用して加工精度評価を行った。その結果、第3案と同程度の加工精度が得られていることがわかった。

3-2-4-3 抜きパンチ第4案の価格

今回試作した新構造パンチ第4案の販売価格は従来品の 79.4%であり、この構造でも目標値を大きくクリアすることができた。

3-2-5 構造Dの検討

本開発では前述した構造A、B、Cの他に、構造Dについても検討を行った。構造Dは構造がシンプルなため、他の構造のような複雑な加工が不要で加工コストの低減が見込まれること、刃先のメンテナンス時間の大幅な短縮が可能などの利点がある。構造Dの試作にはH19年度に導入した精密万能研削盤を活用した。また加工精度検査にはH18に導入した三次元測定機を使用した。

3-2-5-1 構造D-1の検討

構造DについてD-1とD-2の、2つの構造で検討を行った。構造D-1では、ある部分の強度を高めるためテーパをつけており、初めにこの設計値が妥当かどうかについて事前に検証するため、コンピュータシミュレーションによる解析を実施した。その結果、ストリップング力に充分耐える構造であることがわかった。

しかし、実際に試作してみると、テーパを持つ構造では寸法の精度もかなり厳しく設定・加工しないと構造上の不具合が発生することがわかり、またうまく製造できても抜きパンチとしての構造上の欠陥があることがわかり、その解決には高コストかが避けられないことから、技術・コストの両面で実用的ではないと判断した。

3-2-5-2 構造D-2の検討

構造D-1の結果を受け、テーパ部をストレートにした構造D-2について設計・製作することとした。本構造ではコンピュータシミュレーションによる検証ができないため、テストピースの引張試験を行った。その結果、所定の強度が実現できていることがわかった。

3-3 まとめ

試作した全ての新構造パンチにおいて、パンチの価格が従来品と同等という目標値を大幅にクリアしている。これは全てのパンチにおいて、設計の工夫によりコストが大きい加工工程が不要になったことが大きな理由である。またランニングコストについて計算したところ、目標値は達成できなかったものの、最大で従来の 32%まで低減が期待できることから、一定の成果は得られたと考えている。今後は加工のコストダウンを目指す一方で、さらにコーティングや表面処理により高寿命なパンチを開発し、ランニングコストを含めたトータルでコストダウンの目標値を達成する方法を模索したい。

構造Dについては、試験片レベルであるが強度的に充分であることが確認された。本構造は単純で加工しやすく、メンテナンス性も良いことから、今後は、実際の製造上の問題点をクリアして試作品を製造したいと考えている。

第4章 本論一（3）3次元形状を持つ曲げパンチの低コスト・短納期製造技術開発

4-1 開発概要と本年度の目標値

従来の曲げパンチは、難加工性材料である焼入鋼を切削で粗加工し、研削および研磨で仕上げる工程で製造される。そのため、抜きパンチと比較して製造工程とリードタイムが多くなり、金型の製造費および納期が増大している。

本研究では、焼結や熱処理技術を活用して、全く新しいアプローチで3次元形状を安価に短時間で製造する方法に挑戦する。その製造技術を使い、第2章で報告した新構造の3次元形状曲げパンチを製造する。これにより製造コストの低減や短納期化だけでなく、メンテナンスも安価に短時間で行える曲げパンチが実現できる。

本課題では、焼結や熱処理技術で従来の曲げパンチと同等あるいはそれ以上の強度（耐久性）を確保できるかが鍵となる。本研究では、以下の開発に取り組む。

- (1) 熱処理技術を活用した製造技術を開発するほか、表面処理を組み合わせた方法により、耐摩耗性を向上させる。
- (2) 非常に緻密な焼結が可能な通電加熱焼結法を活用した製造方法の開発。

また(1)、(2)は単独で実施するだけでなく、各々の技術を融合させ、最適な製造条件を確立する。本テーマの目標値は以下のとおりである。

- ・ 従来の曲げパンチの半分程度の製造費であること。
- ・ 従来品と同等の刃先の耐久性を持つこと。
- ・ 従来品の1/5以下の期間で製造できること。

4-2 熱処理、コーティングによる新構造曲げパンチの製造技術開発

近年、プレス加工用金型、プラスチック成型用金型、治工具、部品等において、コストはもちろん納期及び長寿命化などの品質改善がユーザーから求められている。その理由のひとつとして、難加工材や形状が複雑なプレス加工する金型、ガスが発生するようなプラスチック、硬化剤が添加されているようなプラスチックを成型する金型、高硬度材を切削する工具、高速で摺動する部品のように厳しい環境下での使用する金型が増加していることが挙げられる。

今回テーマの対象となった3次元形状の曲げパンチの製作工程では形状が複雑になるに従い、コスト及び納期がかかるためユーザーの負担となっている。本テーマでは熱処理技術により問題を解決することにより、今回対象となる3次元形状パンチを製作するコスト及び納期を削減することによるコスト削減/短納期化/省エネルギー化だけでなく、製作したパンチへコーティングすることによる長寿命化によって省資源も視野に入れている。

H18年度の結果から、熱処理による曲げパンチ製造が可能であることが分かった。また、パンチの長寿命化対策として十分な密着性が確保されたコーティングが可能なが分かった。しかし、想定している材質を用いた実製品形状での確認には至っていなかったため、今年度はR4mmの半球面を持つ曲げパンチを試作し、テストを実施した。

試作パンチの評価は宮城県産業技術総合センターにて耐荷重試験及び繰り返し荷重試験を行った。耐荷重試験では引張圧縮試験機を用いパンチの先端から5mm変位（破壊）するまでの荷重を測定した結果、14.2kN(1.45ton)と高荷重に耐えられるパンチであることが分かった。耐久試験は機械的特性評価試験機(インストロン8802型)を用いて、荷重1tonの繰り返し荷重試験サイクル

試験を行ったが、試験後観察したところパンチは破壊していた。

また試作パンチにて鋼板を曲げた結果、図 4-2-1-10 のように曲げが可能であることが分かった。しかし、形状は作れたものの図 4-2-1-9 の滑らかな窪みと比較すると 4-2-1-10 は段つきで凹んでいることが分かる。

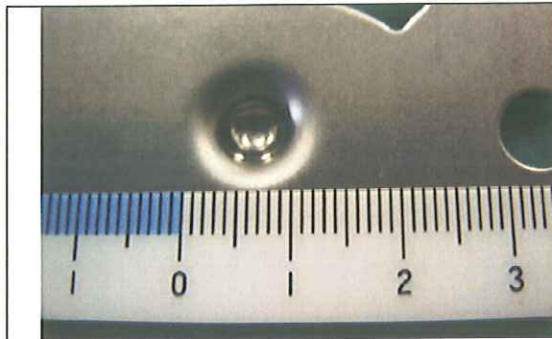


図 4-2-1-9 普通のパンチでプレスした鋼板



図 4-2-1-10 新構造パンチでプレスした鋼板

4-3 放電プラズマ焼結機を用いた、焼結による新構造曲げパンチの製造技術開発

4-3-1 放電プラズマ焼結機の概要

放電プラズマ焼結機(Spark Plasma Sintering、以下 SPS と略)は圧粉体粒子間隙に低電圧でパルス大電流を投入し、火花放電現象により瞬時に発生する放電プラズマの高エネルギーを利用して粒子同士を結合する装置である。ダイス内に素材を入れ、パンチで加圧しながらパルス通電することで急速昇温され、短時間で緻密な焼結体を得ることができる。

4-3-2 SPS による曲げパンチの焼結

今回実験で試作する曲げパンチは、形状φ8mm で R4mm の半球面を持つ。実験は焼結だけでなく、接合の技術を活用した。曲げパンチを試作する前に焼結や接合の基礎実験を行い、強度試験を実施した。曲げパンチの押し込み強度は引張圧縮試験機による最大圧縮力で、接合強度は引張圧縮試験機による 3 点曲げ試験の最大荷重で、パンチの耐摩耗性で重要となる硬さはマイクロビッカース硬さ試験機で、それぞれ評価した。

4-3-2-1 焼結技術の基礎実験

焼結の基礎実験から、温度 1050℃(昇温 30℃/min)で 10min 保持することにより、溶解せずに曲げパンチを作製できることがわかった。この焼結材の硬度をマイクロビッカース硬さ試験機にて測定したところ 636Hv まで硬さが低下していた(購入材 950Hv(メーカー公証値))。また強度試験の結果、パンチ押し込み方向には十分な強度を示したが、パンチ側面からの圧縮では十分な強度が得られていなかった。

4-3-2-2 接合技術の基礎実験

次に焼結だけでなく接合による曲げパンチの製造に関する実験を行った。焼結条件は 1000℃保持時間 10min と 1050℃保持時間 0min、1100℃保持時間 0min で行った。1000℃-10min では形状を損なわずに焼結および接合することができた。しかし、1000℃-10min 焼結材では接合が不十分、1050℃-0min では一部溶解が見られ、形状が崩れてしまった。なお接合部の強度試験では、溶解したテストピースの強度が高かったことから、十分な接合強度を得るためには溶解が必要である

と思われる。

4-3-2-3 焼結と接合の組み合わせの基礎実験

焼結と接合を組み合わせた基礎実験を実施した。焼結条件は 1050°C-0min と 1080°C-0min、1100°C-0min で焼結を行った。1050°C-0min 焼結材の接合力を圧縮試験機で測定したところ最大荷重 225kgf で剥離した。1080°Cの焼結材では接合力は 354kgf と 1050°Cの焼結より若干向上していた。また、硬さは 738Hv まで向上していた。1100°Cの焼結では若干の溶解が見られたが形状を損なうほどではなかった。接合強度は 294kgf であった。

4-3-2-4 焼結による曲げパンチの製造実験

今回実験で試作する曲げパンチは、形状φ8mm で R4mm の半球面を持つ。先に示した焼結と接合の技術を組み合わせ、曲げパンチを試作した。焼結は 1100°C-0min、昇温速度 50°C/min で行い、先端の R4 の形状が良好に製造された。

4-3-3 試作した曲げパンチの強度・耐久試験

試作パンチの強度試験には治具を作製し、実際に用いられる冷間圧延鋼板 1.2mm を引張圧縮試験機にてパンチを押し込み、押し込み量が 5mm に到達するまで行った。試験速度はクロスヘッド速度 5mm/min と 50mm/min で行ったが、両者に大きな差はなく、5mm 押し込んだときの最大荷重は 1.3tonf と 1.4tonf であった。また、図 4-3-3-2 に示すとおり両試験とも板材には亀裂が発生していた。これはパンチ外周部分にある段差が引っかけり局所的に変形が起こっていた物と考えられる。この試験において試作パンチに変形は見られなかった。

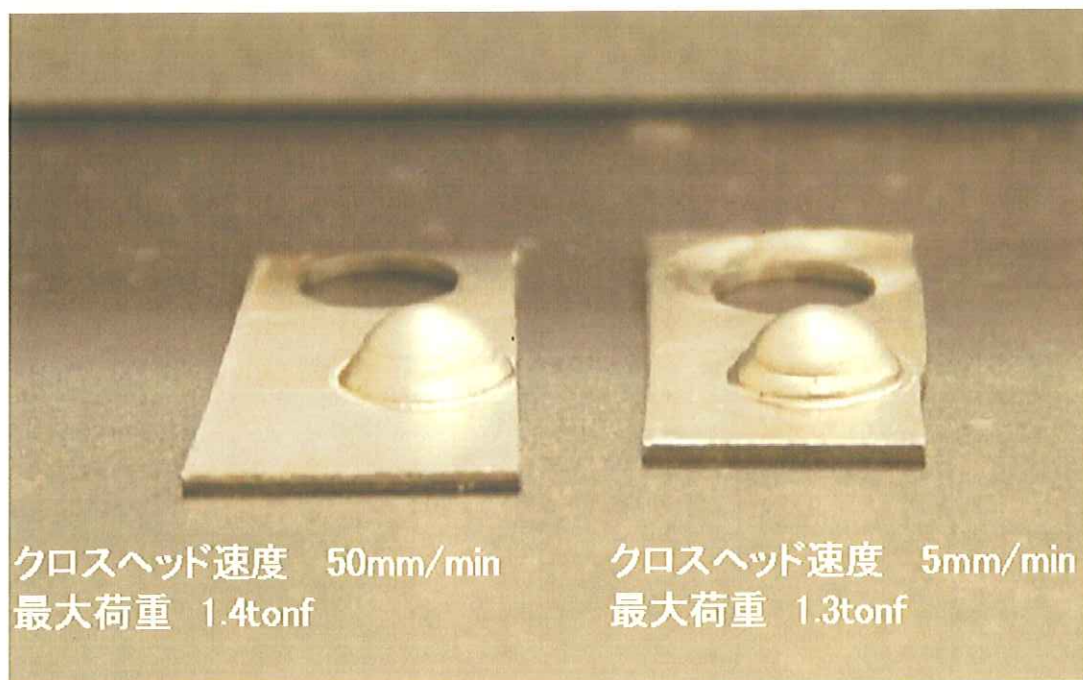


図 4-3-3-2 3次元曲げパンチによる 1.2mm 冷間圧延材の曲げ試験片

次に試作パンチの耐久性を調べるため、機械的特性評価試験機(インストロン 8802 型)にて 1000kgf と 40kgf の圧縮荷重サイクル試験を行った。サイクルは毎秒 15 回とした。120 万サイクルまで試験を行ったが、試験後のパンチには大きな形状変化は見られなかった。しかし、試験前より治具との嵌め合わせがきつくなっており若干の変形が生じたと考えられる。

4-4 まとめ

熱処理による曲げパンチの製造技術開発では、4-2で述べたように本年度の研究結果により、一般的に行われている焼入れ焼戻し処理を利用することで、ある程度の強度を持ったパンチ製作が可能になったことが分かった。

一方、SPSによる焼結では、接合の技術も活用して3次元形状を付与したパンチの作製を行った。その結果、先端形状R4の3次元形状パンチを1100°C-0min保持、昇温速度50°C/minで作製することができた。また、その強度は1.2mmの冷間圧延鋼板を曲げるのに十分な強度を持ち、荷重繰り返し試験にも耐えた。しかし、試作した曲げパンチの一部には若干の空隙が残っており、更なる緻密化を目指し焼結条件の変更が必要である。

第5章 本論－（４）新構造抜きパンチ・曲げパンチの評価

5－1 開発概要と本年度の目標値

本サブテーマでは、第3章で試作した新構造抜きパンチについて、実際に生産に使われている高速自動プレス機を使って評価を行った。実機を使うことで、1分間に100ショット以上の高能率テストが可能であるほか、強度やメンテナンス作業上の不具合を特定できる利点がある。

パンチの評価は大きく分けて、刃先寿命（耐摩耗性）とパンチの寿命（強度）である。刃先の耐摩耗性については、テストの途中で工具顕微鏡による刃先部分の観察と、コントレーサーによる刃先形状の測定、および表面粗さ計による刃先部分の表面粗さの測定を行った。また、製品（被加工物）の品質も刃先寿命を判断する重要な要因のひとつであることから、製品側のバリ、抜き部R、せん断・破断比率についても観察する。パンチ全体の寿命については外観検査で判断した。

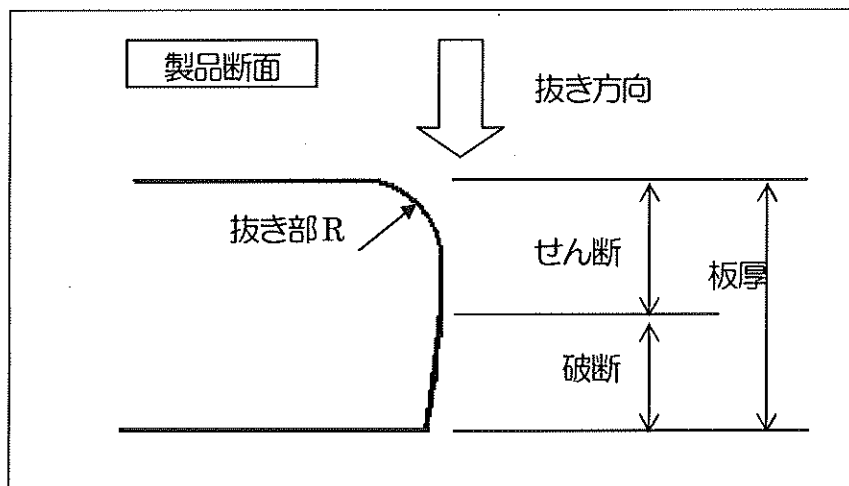


図5-1-1 製品断面の形態

5－2 実施内容

5－2－1 テスト用順送型の改造

今年度試作する新構造パンチは、抜き形状が実際の製品と同じ複雑な形状を持っているため、H18年度でテスト用順送型を改造する必要がある。改造した順送型の下型および上型（ストリップ）の写真を図5-2-1-1に示す。今回の改造ではダイを中子タイプに変更し、中子に今年度の抜き形状を加工して下型に挿入する方法をとった。同様にストリップも分割化し、パンチが通る形に加工した部品をボルトで止めた。また第3章で試作したパンチを改造したテスト順送型にセットし、実際に加工した鋼板の写真を、図5-2-1-2に示す。

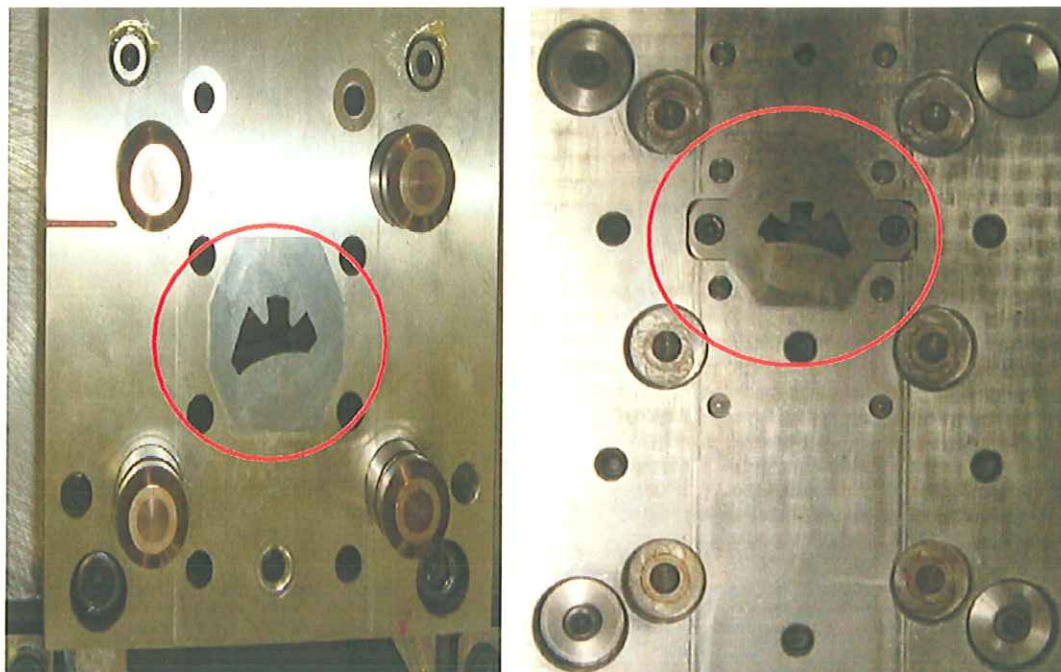


図5-2-1-1 改造したテスト順送型の写真（左：下型、右：上型） 赤丸部が改造箇所



図5-2-1-2 加工した鋼板
（上左：加工の様子 上右：曲げ加工 下：抜き加工）

5-2-2 実機による新構造抜きパンチの評価方法と評価結果

高速自動プレス機（以下、実機という）でのテストは抜きパンチのみ実施し、ここでは刃先の寿命、特に刃先先端の磨耗の状態と製品への影響を調査した。抜きパンチの試作品は構造や素材の違いなどで6種類の抜きパンチが作られたが、効率的に評価を行うため5種類を選定した。なお第4案のパンチについては、スケジュールの関係で実施することができなかった。

表5-2-2-1 評価した新構造パンチ

No.	パンチ	素材	コーティング
1	第1案	超硬合金	なし
2	第2案	超硬合金	なし
3	第3案	高速度鋼 (SKH)	TiN
4	第3案	超硬合金	TiN
5	第3案	高速度鋼 (DRM3)	キリンコート+TiCN
従来品	一体物	高速度工具鋼	TiN

評価は、テスト前と、鋼材1巻分(約 12500 ショット)を加工した後の、それぞれ①パンチ刃先の観察、②パンチ刃先の形状、③パンチ刃先の面粗度、④製品抜き面の観察、⑤製品抜き面の形状、⑥製品抜き面の面粗度、の6項目について行った。

5-2-2-1 刃先寿命評価方法(耐摩耗性)と結果

刃先の摩耗は工具顕微鏡による刃先部分の観察と、コントレーサーによる刃先形状の測定、および表面粗さ計による刃先部分の表面粗さにて評価する。測定位置を一定にするため、パンチにマークを記入、測定点を決めた。12500ショット後の各測定点における刃先部分の拡大写真、刃先形状の測定結果、切刃部分の表面粗さの結果から、従来品と比較して刃先の観察で磨耗のようなスジが見られる以外は、刃先形状や面粗度では大きな差は見られなかった。

5-2-2-2 製品抜き面の評価方法と結果

刃先の磨耗や欠けなどは、抜いた製品に影響を及ぼす。ここでは刃先と同様に製品の抜き面の観察と、形状、面粗度の測定を行った。抜き面の測定ポイントを図5-2-2-5に示す。このポイントは刃先を評価した箇所で鋼板を加工した部分である。観察ではせん断面と破断面の高さについて、初回と10000ショット後で比率が変化しているかを調べた。面粗度はせん断面の部分を測定した。形状測定では初品と10000ショット品とで抜き面のダレの量を測定した。その結果、初品と10000ショット品で大きな違いは見られなかった。

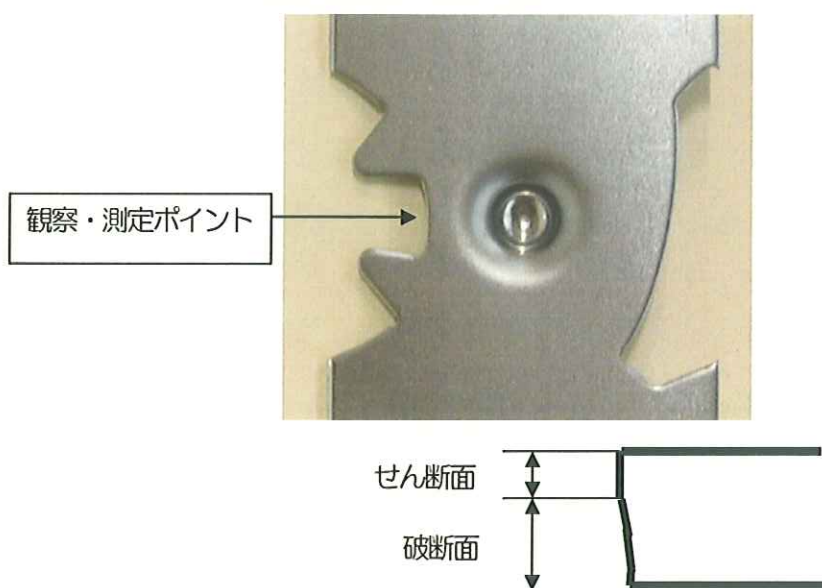


図5-2-2-5 抜き面の測定点

5-2-3 素材とコーティングの評価

本実機テストでは、表5-2-2-1のNo.2~No.5において、素材とコーティングを変えたパンチでテストを行っており、どの素材とコーティングが抜きパンチの刃先として適しているかを検証するため、12500ショット後の刃先を詳細に観察したので、ここではその結果について紹介する。なお観察には本年度導入したマイクロスコープを活用した。

5-2-3-1 超硬合金とTiNコーティング (No.4)

超硬合金は、その名前のとおり非常に硬い材料であり、刃先の耐摩耗性の点からは優れた素材である。ただし、その一方で靱性がなく欠けやすいという欠点を持つ。実際に12500ショットを加工した後の刃先を詳細に観察してみると、抜き形状でRのきつい部分で欠けが発見された。当初はコーティングのはく離が原因と考えられたが、詳細な解析をしたところ、素材の欠けであることがわかった。また素材が硬いために加工ができない形状や構造があるほか、加工コストも増えるため、現時点で素材としては適当でないように思われる。ただし、近年では様々な種類の超硬合金があり、このようなプレス加工に向く靱性の高い素材も市販されているので、より素材を吟味すれば長寿命の抜きパンチも可能になると思われる。なお超硬合金単体でコーティングしていないNo.2では、このような大きな欠けは見られなかったが、微細な欠けは散見された。

5-2-3-2 高速度工具鋼 (SKH) とTiNコーティング (No.3)

12500ショットを加工した後の刃先の観察では、前述の超硬合金に比べエッジ部のチッピングはほとんど見られなかった。ただし従来品 (SKH) において70万ショットの時点でかなり磨耗が進んでおり、抜き面もカサリが見られる。SKHを使用する場合、刃先寿命が従来品の4倍以上という目標値をクリアするためには、より耐摩耗性を上げるような、熱処理やコーティング等の工夫が必要と思われる。

5-2-3-3 高速度工具鋼 (DRM3) とキリンコート+TiCNコーティング (No.5)

DRM3は高速度工具鋼系の素材で大同特殊鋼(株)が製造している。またキリンコートは本研究で曲げパンチの開発を担当している東北特殊鋼(株)が開発したコーティング方法であり、通常のコーティングの前に母材に対し特殊窒化処理を施すことで膜と母材の間の硬度ギャップを解消し、膜の密着性を高めて高寿命化を実現している。また母材の強化により衝撃による寸法変化が少ないなどの特徴を持つ。

12500ショット後の観察画像から、一部でチッピングが発生する結果となった。この原因として、放電加工の際に発生する加工変質層が刃先に残っていたか、または欠けた箇所がRのきつい部分でないことから抜き板のカサ上がりか噛んでかけたものと思われる。またDRM3の最適なコーティング条件がわからないことも要因の一つと考えられ、今後は加工変質層の除去とコーティングの最適化を行い、再度テストを実施する。

5-2-4 疲労試験機による新構造パンチの耐久試験

本開発では、新構造パンチの寿命が3500万ショット以上という目標値を設定しているが、実機テストでは24時間フルに稼働させて約8ヶ月かかる計算になり、また高速自動プレス機は実験だけでなく生産にも使われることから事実上検証は不可能である。そこで宮城県産業技術総合センターで所有する機械的特性評価試験機 (INSTRON 8820) を使った評価を行った。本試験では第2章のコンピュータシミュレーションで与えた荷重と同じく、圧縮50kN、引張4kNとし、1秒間に10サイクルのスピードで実施した。これにより3500万サイクルを実施するのに、約40

日間まで短縮可能となる。以下に、試作した新構造パンチの試験結果について述べる。

5-2-4-1 第2案の耐久試験

構造Aを持つ第2案について試験を行った。本試験は第2案の強度的に弱そうな箇所を試験片で再現して実施し、約11000サイクルで破壊した。また加工精度を上げて再製作・試験を実施したが18万サイクルで破壊した。コンピュータシミュレーションでは強度的に十分であったのにもかかわらず破壊に至った原因として、素材が欠けやすい超合金であること、ワイヤー放電加工後の研磨を行わなかったため、放電加工の際にできる加工変質層が除去されず、そこから亀裂が発生・進展したことが考えられる。

5-2-4-2 第3案の耐久試験

この試験片はクランプ治具を別途作製して、新構造パンチを試験機に取り付けられるようにして試験を実施した。初めに超合金製のパンチで試験を行った。本試験では若干設定を変え、圧縮力80kN、引張4kNで実施したところ、約6000サイクルで破壊した。

破壊の要因としては、第2案と同様に超合金の靱性が小さいのと、試験機の共振による左右のブレが考えられる。なお破壊したのはクランプするために加工したつかみ部の付け根であり、新構造パンチそのものには何ら不具合箇所は見られなかった。

次に素材をSKHに変えて試験を行った。本パンチは時間の関係で12日間、約1200万サイクルまでのテストとしたが、破壊することなく無事に終了した。鋼では概ね1000万回以上のサイクル数まで耐えられれば、それ以降は破壊しないとのデータもあり、本パンチで3500万サイクルの達成も十分期待できる。

5-2-4-3 第4案の耐久試験

試験の方法は第3案と同じで、クランプ治具にて試験機に取り付けた。が取り付けである。本パンチについても耐久試験を実施し、研究終了後の時点で試験機の不調により120万回で試験を中止している。

5-2-4-4 構造D-2の耐久試験

3-2-5-2で述べた構造D-2のテストピースについて、これまでと同様の耐久試験を行った。その結果、8000サイクルで破損する結果となった。これはテストピースの寸法に対し、耐久試験で与えた圧縮荷重50kNが大きすぎたことが原因で、単純計算で引張強さと同等の1768MPaの応力がかかったためと考えられる。

5-3 まとめ

以上の各評価結果から、以下の知見が得られた。

- 従来のパンチ(SKH)での実機テストにより、70万ショット時で以下の変化が見られ、今後の刃先の評価における指標を得ることができた。
- 川下企業が使用している一体型パンチに比べ、ランニングコストだけでなく、パンチの制作費も低減できることが明らかとなった。
- メンテナンス性について、目標値(15分で実施)は金型やプレス機の構造の制限があり目標値を達成できなかったが、従来のパンチのメンテナンスよりも、交換時間が約50%短縮できている。
- 新構造パンチの評価では、抜き数が12500ショットと非常に少なかったため、刃先や抜き面の形状や表面粗さについて、トライ初期からの大きな差は見られなかった。

- 12500 ショット後の刃先を詳細に観察すると、超硬合金+TiN と DRM3+キリンコート+TiCN の組み合わせで欠けが見られた。前者は超硬合金の靱性のなさが原因と考えられ、パンチの素材としては不適切だと思われる。一方、後者は加工変質層やコーティングの処理条件の問題と考えられる。
- 機械的特性評価試験機により、新構造パンチの耐久試験を短時間で実施することが可能となり、第3案で 1200 万サイクルまでの耐久性が確認された。今回はスケジュールの関係で 1200 万回の試験に留まったが、鋼材では 1000 万回以上に耐えれば疲労限界以下と見なすこともできるという文献もあり、3500 万サイクルの達成が大いに期待できる。

以上の結果から、今後は以下の内容に取り組む予定である。

- 本パンチを実際に量産型として製作し、実機による加工テストを継続して実施する。刃先寿命については数十万ショット単位の成形トライを行い、川下企業の使用しているパンチや製品形状と比較して耐久性、寿命ショット数などの評価を進めていく。また新構造の耐久性についても実機での耐久試験を行う。
- 課題を残した DRM3+キリンコートの条件の最適化を進めるほか、他の素材やコーティングをテストして、耐久性とコストの面から最適な素材とコーティングの組み合わせを確立する。
- 実機による新構造パンチの耐久試験に先立ち、機械的特性評価試験機による試験を再開して耐久性の評価を行う。