

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「高機能製品を得る精密せん断(ファインブランキング)を
ハイサイクル成形で可能とする金型及び成形技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成22年3月

委託者 関 東 経 済 産 業 局
委託先 よこはまティーエルオー株式会社

目次

第1章 研究開発の概要	
1-1 研究開発の背景と目的および目標	3
1-2 研究開発体制	6
1-3 研究成果の概要	7
1-4 プロジェクト連絡窓口	8
第2章 本論	
2-1 連続強制潤滑システムの開発(昭和精工(株), (株)不二ダブリュピーシー)	9
2-2 金型温度制御システムの開発(昭和精工(株), (株)不二ダブリュピーシー)	14
2-3 新金型構造の開発(昭和精工(株), (株)不二ダブリュピーシー)	17
2-4 金型表面制御技術の開発 (神奈川県産業技術センター, 昭和精工(株), (株)不二ダブリュピーシー)	20
第3章 全体総括	
3-1 開発目標値に対する到達度	28
3-2 現在の市場動向及びその対応	29
3-3 結言	31

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景と目的および目標

汎用プレスを使用し従来の油圧式ファインブランキング加工の3倍の生産性を可能とする精密せん断加工技術を開発するために、連続強制潤滑、金型温度制御、新金型構造、金型表面制御の各要素技術を高度化、融合して革新的な高精度ハイサイクル成形加工サービスの体制確立を目指す（図 1-1-1 および図 1-1-2 参照）。

環境負荷低減のために自動車メーカーが掲げる「2010年 CO₂排出 10%低減目標」を達成するにあたり、車体や駆動部品等の軽量化が求められている。また、自動車メーカーおよび部品メーカーの海外生産が拡大するなかで、国際競争力のあるコスト低減にあたり、高機能と高生産性の両立が求められている。

本研究で対象とする金属プレス加工は生産性が高く部品の低コスト化に有効なプロセスであることから、自動車メーカーは金属プレス加工の採用を拡大したいニーズがある。金属プレス加工製品の生産方法としてはファインブランキング工法と一般プレス工法がある。ファインブランキング工法は加工精度が高く（ $\pm 0.02\text{mm}$ ）、従来、プレス加工後に工作機械によって仕上げ加工を必要としていたプレス製品も後加工することなくプレス加工のみで生産できる優れた加工方法であることからブレーキ、トランスミッション部品等に適用されている。しかし、その反面、生産速度が遅い（30 ストローク/min）ことや一般プレスと比較し高価なファインブランキング工法専用のプレス機が必要なことが欠点である。一方、一般プレス工法は製品精度が低い（ $\pm 0.1\text{mm}$ ）欠点がある反面、生産速度が速い（80 ストローク/min）ことやファインブランキングプレスより安価な汎用プレス機で加工できる長所がある。

これまでに一般プレス工法においてファインブランキング工法同等、またはそれ以上の製品精度のプレス製品を一般プレス工法以上のハイサイクル（100 ストローク/min）で生産する金型及び生産システムの開発を独自に行ってきた。その結果、生産速度 80 ストローク/min、製品精度 $\pm 0.02\text{mm}$ の製品が生産出来る迄に至った。本研究開発のハイサイクル生産システムでは金型に過酷な性能を要求する。これはハイサイクルであることによる加工熱の発生サイクルが速いこと、そして材料流動速度が速いため変形抵抗が高く、金型に通常以上の負荷がかかることに起因している。金型の発熱制御と摩擦抵抗を低減する手段として、潤滑油及び潤滑方法の開発、金型表面制御の開発、材料流動制御技術の開発が行われているが、これらを複合的に使用し効果を発揮する技術が確立されておらず、大量生産される製品への採用には至っていないのが現状である。

そこで、本研究開発では、上記の背景に基づいて、自動車の軽量化、低コスト化を実現するために、汎用プレスをしつつファインブランキング並の製品精度を確保し、ファインブランキング比3倍の生産性とファインブランキングおよび一般プレス加工比3倍の金型寿命を兼ね備えるプレス加工技術を開発することを目的とする。

本研究開発の最終的な具体的開発目標値を以下のように設定する。

《 製品精度 》

- せん断面寸法精度^{※1}: $\pm 0.01\text{mm}$ （ファインブランキング加工比2倍）
- 有効せん断面率^{※2}：対板厚比 100%（ファインブランキング加工と同等）
（※1,※2：次頁、図 1-1-1 参照）

《 生産性 》

- ストローク数:100 ストローク/min（ファインブランキング加工比3倍）
- 型寿命:10万ショット/1回研磨（ファインブランキング&一般プレス比3倍）

自動車の軽量化，低コスト化に資するハイサイクル精密せん断加工技術

開発の効果

- ・ 既存プレス部品の低コスト化
- ・ 他部品のプレス成形の適用拡大による低コスト化
- ・ 高強度，難加工性素材への適用による部品の軽量化



自動車の軽量化
&
低コスト化

対象部品



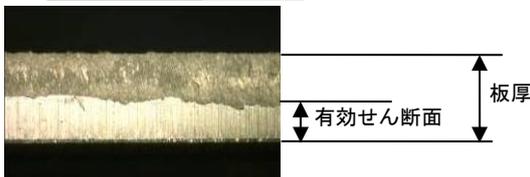
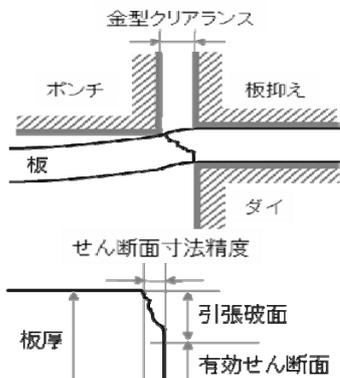
・ 市場規模

- ・ 自動車用金属プレス製品
約 7,800 億円 (H18, 販売額)
うち金型費
約 390 億円 (販売額の約 5%)

< 従来技術 >

一般プレス加工

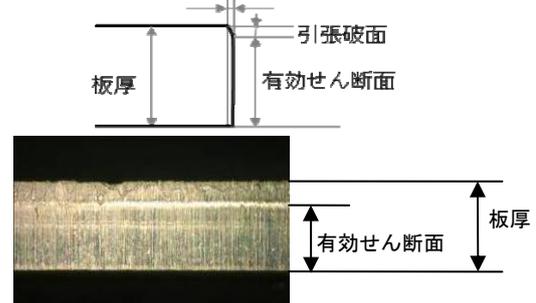
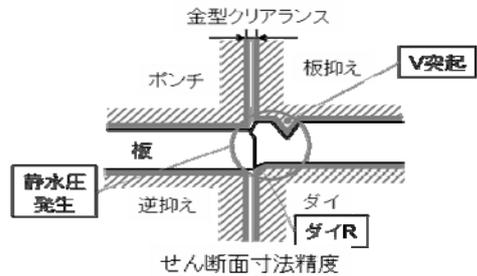
- ・ 製品精度 せん断面寸法精度: $\pm 0.1\text{mm}$
有効せん断面率: 板厚比 30-50%
- ・ 生産性 生産性: 80 ストローク/min
型寿命: 4 万ショット/1 回研磨



長所: 生産性が高い
&
短所: 製品精度が低い

ファインブランキング (FB) プレス加工

- ・ 製品精度 せん断面寸法精度: $\pm 0.02\text{mm}$
有効せん断面率: 板厚比 90-100%
- ・ 生産性 サイクル数: 30 ストローク/min
型寿命: 4 万ショット/1 回研磨



長所: 製品精度が高い
&
短所: 生産性が低い

トレード
オフ

課題 製品精度に優れ，かつ生産性，金型寿命に優れた金属プレス加工技術の開発が不十分

図 1-1-1 研究開発概念図①

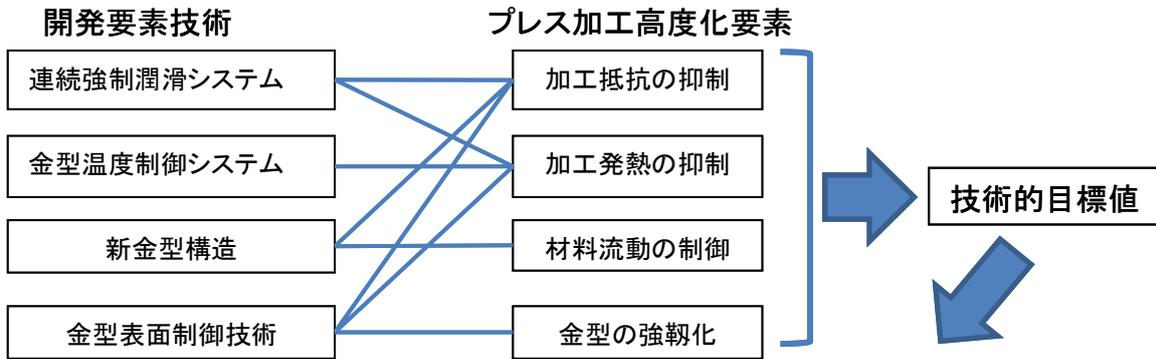
＜開発技術：汎用プレス機を用いたハイサイクル精密せん断加工技術＞

開発技術の特徴

- ・ 汎用プレス機の適用 経済波及効果大
- ・ 高度開発技術の複合化 フロントランナー技術・地位の確立

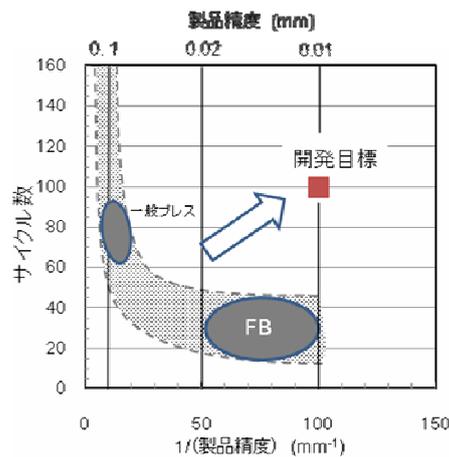
開発技術要素

1. 連続強制潤滑システム・・・連続強制潤滑を実現する金型表面への潤滑油供給方法の開発
2. 金型温度制御システム・・・温度制御した潤滑油の金型表面への供給と循環による型温度制御方法の開発
3. 新金型構造・・・材料流動制御により変形抵抗増分を抑制する新金型構造と金型設計技術の開発
4. 金型表面制御技術・・・・・・マイクロディンプル(油溜まり)形成による潤滑性の向上
(マイクロフォーミング加工) 表面のナノ結晶化, 高硬度化, 高圧縮残留応力による金型表面強靱



技術的目標値

- ・ 製品精度
せん断寸法精度: $\pm 0.01\text{mm}$
有効せん断面率: 板厚比 100%
- ・ 生産性
ストローク数: 100 ストローク /min
型寿命: 10 万ショット / 1 回研磨
- ・ FB 並以上の製品精度
- ・ FB 比 3 倍の生産性
- ・ 従来比 3 倍の金型寿命



知的技術基盤に立脚した高度ものづくりへの産業構造転換

開発の効果

- ・ 既存プレス部品の低コスト化
- ・ 他部品のプレス成形の適用拡大による低コスト化

技術的波及効果

- ・ 高強度, 難加工性素材への適用による部品の軽量化

自動車の軽量化 & 低コスト化

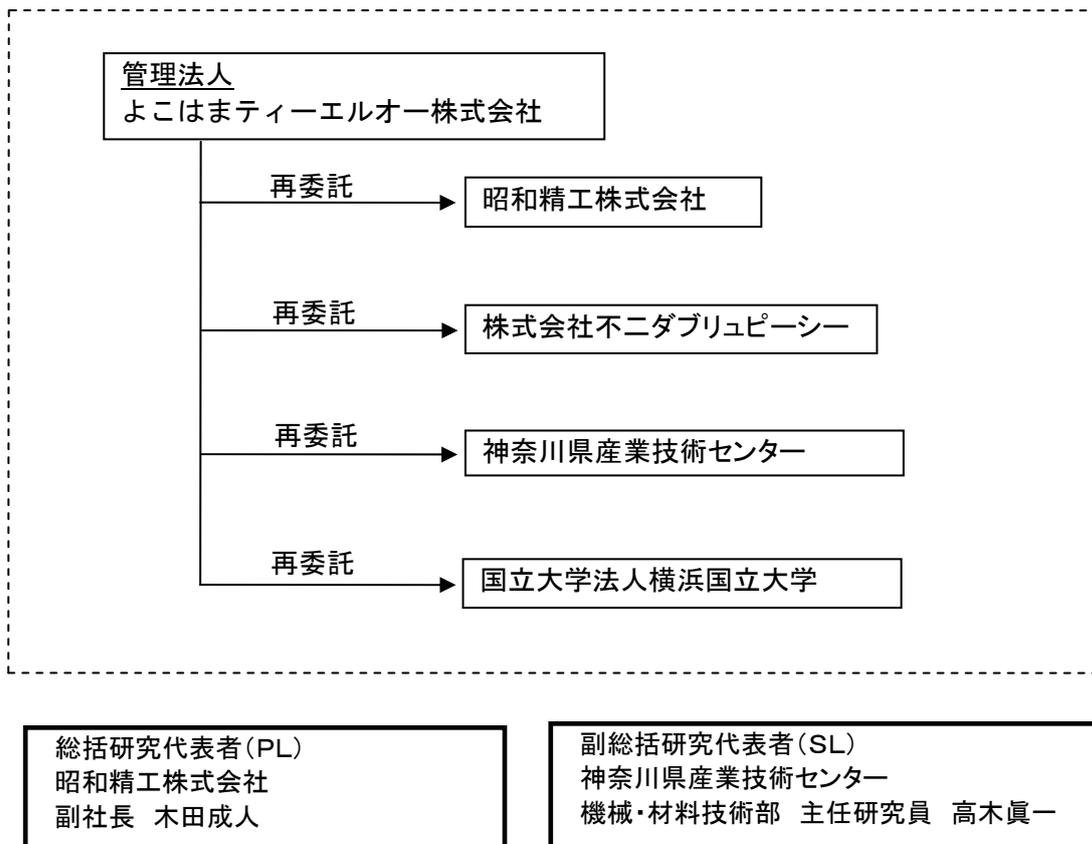
図 1-1-2 研究開発概念図②

1-2 研究開発体制

1-2-1 研究組織および管理体制

(1) 研究組織

昭和精工（株）において、金型構造、金型動作機構の設計および金型の作製、評価を行い、精密せん断・ハイスサイクル加工によるコスト削減、製品性能の向上等の評価する。(株)不二ダブリュピーシーでは、代表的な金型用鋼に対して、種々の条件でマイクロフォーミング加工を研究する。神奈川県産業技術センターでは、金型用鋼の潤滑性（摩擦係数）、耐焼付き性、組織、表面微細構造を評価する。又、横浜国立大学では、得られた金型寿命向上に関する知見を考察し、シミュレーション技法の適用など検討する。



1-2-2 管理員及び研究員

(事業管理者)

【よこはまティールエルオー株式会社】

管理員

有澤 邦夫	執行役員
石川 勝之助	経理担当

(再委託先)

【昭和精工株式会社】

永田 卓	生産部システム課長
石川 一成	生産部システム課リーダー
大長 秀徳	生産部システム課リーダー
海老沢 紀道	生産部システム課サブリーダー

【株式会社不二ダブリュピーシー】

下平 英二	取締役社長
住吉 弘至	製造グループ
鈴木 邦夫	営業グループリーダー

【神奈川県産業技術センター】

高木 眞一	機械・材料技術部	主任研究員
堀内 崇弘	機械・材料技術部	技師
中村 紀夫	機械・材料技術部	技師

【国立大学法人 横浜国立大学】

梅澤 修	大学院工学研究院	教授
松井 和己	大学院環境情報研究院	講師
諸岡 聡	大学院工学研究院	研究教員

1-2-4 他からの指導・協力者

(技術アドバイザー)

鹿田 洋	財団法人 横浜企業経営支援財団	横浜市技術リエゾンプロデューサー
杉山 隆司	ユニプレス株式会社	技術開発部 次長
吉崎 正敏	日野自動車株式会社	パワートレイン実験部 駆動実験室 主管
坂田 玲璽	株式会社上島熱処理工業所	技術部 部長

1-3 研究成果の概要

本研究開発の目標達成状況は、せん断面寸法精度が $\pm 0.012\text{mm}$ 、有効せん断面率が最高値で90%、加工速度が最速で80SPM (200mm/sec)、型寿命が最長で10万ショット/1回研磨であった。現状では有効せん断面率と金型寿命を両立することが課題として残っていることを考慮すると、開発目標に対し

て88%の達成状況にあると考えている。実用化を視野に入れた基礎研究の段階は既に完了したので、これまでのデータをフィードバックしつつ更なる技術の高度化を図っていく予定である。

1-4 プロジェクト連絡窓口

よこはまティールオー株式会社 福岡新五郎

電話番号： FAX： e-mail： fuku-tlo@ynu.ac.jp

第2章 本論

2-1 連続強制潤滑システムの開発 (昭和精工(株), (株)不二ダブリュピーシー)

2-1-1 プレス加工用潤滑油の評価

ハイサイクル精密せん断加工では従来のプレス加工と比較してせん断速度が高速であることから、被加工材料の塑性変形抵抗が大きく被加工材料が著しく発熱する。これに伴い金型の温度は上昇し熱膨張するため成形された製品は金型の熱膨張に伴い製品寸法が大きく変化する。プレス加工用潤滑油は、被加工材料と金型の間で潤滑作用をすると共に被加工材料発熱に起因した金型温度上昇を抑制する作用があり、本研究開発で使用する潤滑油の特性に十分な検討を加える必要がある。そこで本研究に最適な潤滑油を選定するため潤滑油メーカーとの協働により各種の潤滑油を詳細に評価した。試験評価は試験金型に各種プレス加工潤滑油を供給しながら連続プレス加工する方法で行い、金型の最重要部である刃先部の被加工材料凝着と硬質皮膜の剥離および金型の摩耗状況を観察することで行った。表 2-1-1 にプレス試験条件を示す。

図 2-1-1 にA社製潤滑油 a の結果観察例を示す。3000 ショットの連続プレス加工を行ったがダイ側面に若干の被加工材料凝着が観察されるものの、硬質皮膜の剥離や金型摩耗は観察されない。図 2-1-2 にA社製潤滑油 b の結果観察例を示す。2000 ショットの連続プレス加工を行った時点で潤滑油 a と同程度の被加工材料の凝着が観察されるが、それ以外には硬質皮膜の剥離や金型摩耗は観察されない。図 2-1-3 に潤滑油 c の結果観察例を示す。2000 ショットの連続プレス加工を行ったが、ダイ側面凸部に微小な硬質皮膜の剥離と微量な凝着が観察され凹部は少量の凝着が観察されるが、被加工材料凝着、硬質被膜の剥離、金型摩耗のいずれも少ない。図 2-1-4 に潤滑油 d の結果観察例を示す。2000 ショットのプレス加工を行ったが側面にダイ上面より 7mm にわたり硬質皮膜の剥離が観測された。また凝着、チッピングも観察された。図 2-1-5 に潤滑油 e の結果観察例を示す。2000 ショットの連続プレス加工により著しい金型摩耗が観察され凹部には少量の凝着も確認された。図 2-1-6 に潤滑油 f の結果観察例を示す。2000 ショットの連続プレス加工により著しい被加工材料凝着が観察されたが、金型摩耗は確認されない。

以上の結果より、試験金型と被加工材料の間は限りなく境界潤滑状態に近いことが推測され潤滑油の性能、金型材料および硬質被膜との相性等が顕著に表れた結果となった。本試験条件であるプレス速度 35SPM の条件下では、潤滑油 a が最も潤滑性能が適していることが判明した。この結果を踏まえて、以後行うプレス加工試験では潤滑油 a を使用することにした。

表 2-1-1 潤滑油評価のためのプレステスト条件

製品形状	ギア形状再現品
非加工材鋼種	SPHC-P (板厚=6.0mm, $\sigma=360\text{N/mm}^2$)
プレス試験機	UL-4000
金型材質	
パンチ	マトリックスハイス鋼 (63HRC \pm 0.5)
ダイ	冷間ダイス鋼 SKD11
金型クリアランス	0.05mm
潤滑油	潤滑油 6 種類
加工速度	35SPM



図 2-1-1 潤滑油 a 3000 ショット後



図 2-1-2 潤滑油 b 2000 ショット後

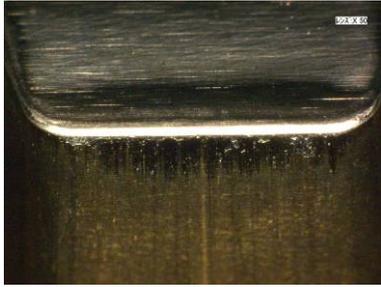


図 2-1-3 潤滑油 c 2000 ショット後

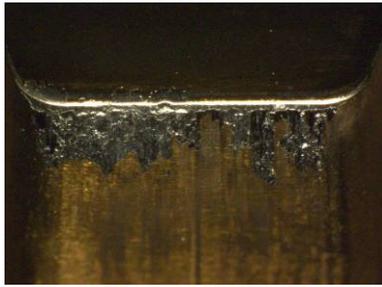


図 2-1-4 潤滑油 d 2000 ショット後

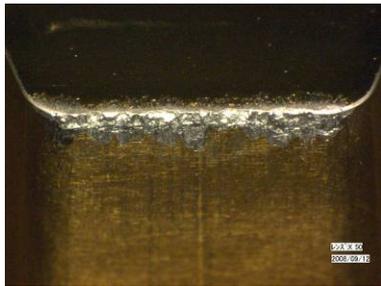


図 2-1-5 潤滑油 e 2000 ショット後

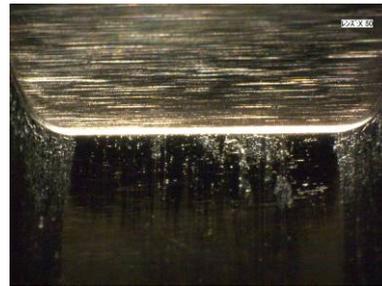


図 2-1-6 潤滑油 f 2000 ショット後

2-1-2 連続強制潤滑システムの評価

ハイサイクル精密せん断加工では被加工材料の著しい発熱により金型温度が上昇し熱膨張することで製品寸法精度が低下する。またプレス加工時に被加工材料と金型の間は限りなく境界潤滑状態に近いことから、金型への被加工材料凝着や硬質被膜の剥離、そして金型摩耗が発生し金型寿命が著しく短くなる。そこで、プレス加工用潤滑油を連続的かつ強制的に被加工材料と金型の間へ供給する連続強制潤滑システムを開発、設計製作し評価した。従来、潤滑剤の供給方法としては、潤滑剤を浸したフェルト状ロールで被加工材料（板材）を上下から挟んで塗布する方法や被加工材料表面に均一に噴射して塗布する方法が実施されてきた。これに対して、開発した強制潤滑システムは、図 2-1-7 に示すように金型内部から金型刃先部へ適切な量の潤滑剤を連続的に供給することが可能な構造になっている。図 2-1-8 に試験に用いた金型の組立図を示す。試験は試験金型と被加工材料の間にプレス加工用潤滑油を連続的かつ強制的に供給しながら連続プレス加工試験をする方法で行い、金型の最重要部である刃先部の被加工材料凝着状態と硬質皮膜の剥離および金型基材摩耗状況を観察した。潤滑油は後述の図 2-2-3 に示すようにパンチおよびノックアウトの側面に設けた穴から供給される構造となっている。表 2-1-2 にプレス試験条件を示す。表中の微粒子ピーニングは潤滑油の保持性を高める目的で金型の表面にマイクロデンプルを付与する表面改質処理であり、2-4 節において詳述する。

図 2-1-9 および図 2-1-10 に 10 万ショット試験後のパンチとダイの側面観察結果を示す。パンチ、ダ

この両方で側面に若干の被加工材料凝着が観察されるものの、著しい硬質皮膜の剥離や金型摩耗は確認されないことから、試験金型と被加工材料との間で一定の潤滑状態が維持されていることが推測される。図 2-1-11 は本試験でプレス加工された製品側面の観察例を示す。側面には破断面が観察され、抜きダレも大きいと有効せん断断面率は 84% であり、金型設定による塑性流動制御が不十分であることが判明した。本試験でプレス成形した製品の寸法精度は $\pm 0.012\text{mm}$ であった。これは試験金型温度が著しく上昇し熱膨張することなく一定の温度で維持されていることを示し連続強制潤滑システムによる潤滑油の温度調整機能が有効であることを示唆している。

以上の結果より、連続強制潤滑システムは、本試験条件下によるプレス製品有効せん断断面率が 84% 程度であれば、被加工材料と金型の間を潤滑状態に維持し被加工材料凝着や金型摩耗に対し有効であることが判明した。また、被加工材料の塑性変形抵抗による発熱に起因する金型温度上昇に対しても一定の効果があることが判明した。なお、ここでは連続強制潤滑システムの効果に加えて微粒子ピーニング処理によるマイクロディンプルが潤滑性の向上に寄与したと考えられるが、これについては 2-4 節で詳述する。

表 2-1-2 連続強制潤滑システム評価のためのプレス試験条件

製品形状	ギア形状再現品
被加工材鋼種	SPHC-P (板厚=6.0mm, $\sigma=360\text{N/mm}^2$)
プレス試験機	UL-4000
金型材質	パンチ、ダイともにマトリックスハイス鋼 (63HRC \pm 0.5)
微粒子ピーニング処理	有り
硬質皮膜	Ti 系硬質皮膜
潤滑油	A 社製潤滑油 a
加工速度	80SPM (切断速度 200mm/sec)
連続強制潤滑システム	作動

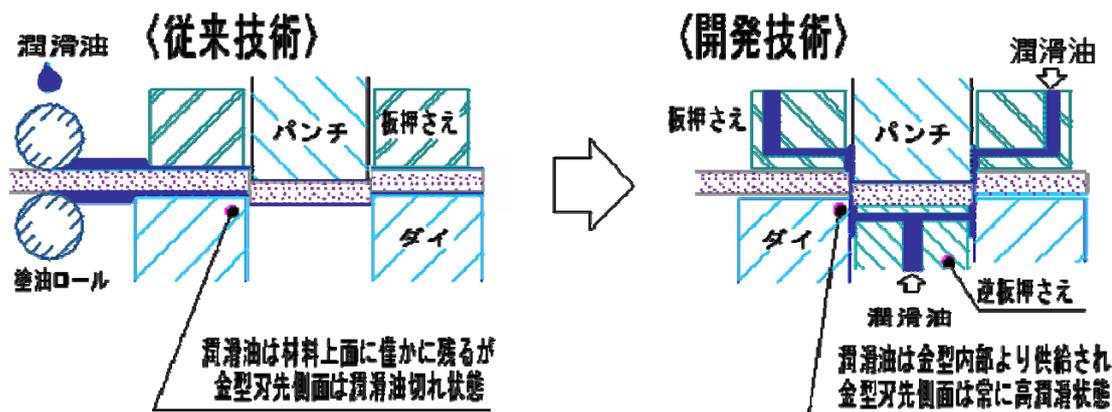


図 2-1-7 連続強制潤滑システム概略図

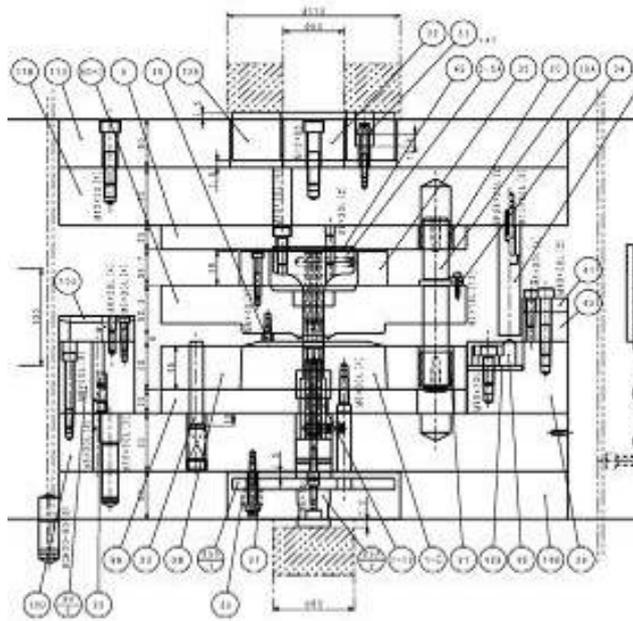


図 2-1-8 試験金型組立図



図 2-1-9 10万ショット後のパンチ側面



図 2-1-10 10万ショット後のダイ側面

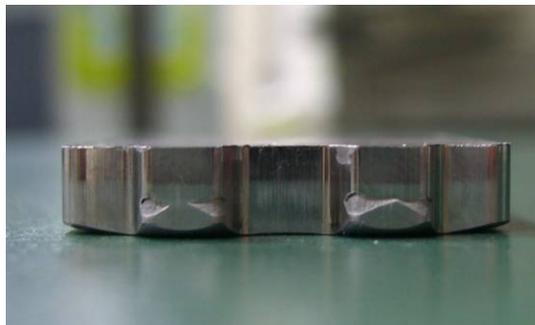


図 2-1-11 10万ショット後の製品せん断面

2-1-3 連続強制潤滑システムによる連続プレス加工試験

連続強制潤滑システムを使用しプレス実機による連続運転試験を行った。本試験の目的は有効せん断面率を板厚比 84%から 100%に向けて向上させる金型設定にした際の連続強制潤滑システムの有効性評価である。表 2-1-3 にプレス加工条件を示す。

図 2-1-12 は 1 万ショット後のパンチ側面観察例を示す。パンチ側面は著しい被加工材料凝着とともに硬質皮膜の剥離および金型基材破損が観察される。前回 10 万ショット連続運転試験を行った結果と比較すると明らかに金型損傷が激しい結果となった。本試験と前回試験との試験条件の違いは、試験金型のダイにV突起が設定されていることである。上述の図 4-2-6 に示す前回試験時の製品断面観察例で

は製品断面には破断面があり製品抜きダレも大きいため有効せん断断面率は84%であった。本試験は有効せん断断面率を84%から100%にする対策として金型設定をダイ側V付に変更することでせん断断面率向上を図ったが、図2-1-13に示すように破断面もなく、製品抜きダレが減少し有効せん断断面率は90%となり対策の効果はあった。これはダイ側にV突起を設定することで塑性流動が変化したことを示しているが、その結果パンチへの負荷が大きくなり被加工材料凝着に至っていると考えられる。ハイサイクル精密せん断プレス加工では有効せん断断面率が板厚比84%から90%になるような塑性流動変化が起こった場合、金型に対する負荷が増大し金型寿命は10万ショット/1研磨から2万ショット/1研磨程度になると考えている。

表 2-1-3 プレス加工条件

製品形状	ギア形状再現品
被加工材鋼種	SPHC-P (板厚=6.0mm, $\sigma=360\text{N/mm}^2$)
プレス試験機	UL-4000
金型材質	
パンチ	マトリックスハイス鋼 (63HRC \pm 0.5)
ダイ	粉末ハイス鋼 (61HRC \pm 0.5)
金型クリアランス	0.03mm
V形状	
ストリップ側	H=0.9mm, D=2.0mm
ダイ側	H=0.9mm, D=2.0mm
ダイクッション	12.5tonf または 30.0tonf に設定
微粒子ピーニング処理	有り
硬質皮膜	Ti系硬質皮膜
潤滑油	A社製潤滑油 a
加工速度	80SPM (切断速度 200mm/sec)
連続強制潤滑システム	作動



図 2-1-12 10000 ショット後のパンチ側面

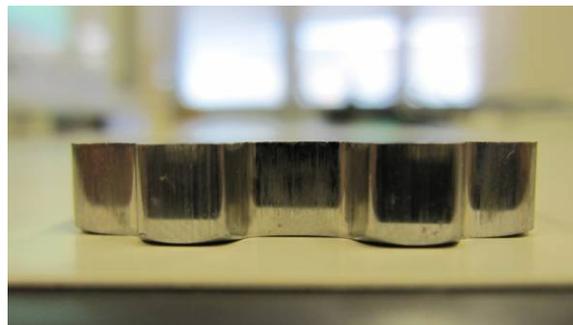


図 2-1-13 10000 ショット後の製品側面

2-1-4 小括

連続強制潤滑システムは有効せん断面率が 84%程度であれば金型と被加工材料の間で一定の潤滑領域を維持し被加工材料凝着に対し有効であることが判明したが、有効せん断面率が 90%程度になるような塑性流動下では効果が低いことが判明した。運転条件設定の見直し、プレス加工用潤滑油見直し、表面処理被膜の見直しが必要である。

2-2 金型温度制御システムの開発 (昭和精工(株), (株)不二ダブリュピーシー)

2-2-1 刃先温度実測調査

ハイサイクル成形では打抜きの際に金型の切刃先端の温度が特に上昇し、非加工材の凝着や金型の強度低下を助長することが懸念される。そこで、ダイの刃先近傍から 0.5mm の位置 (図 2-2-1) に熱電対を埋め込み、打抜き時の金型温度の測定を試みた。非加工材は板厚 6.0mm の SPHC-P である。また、このときのプレス加工条件を表 2-2-1 に示す。なお、この時点では連続強制潤滑システムは作動させていない。

プレス加工時の刃先の温度変化を図 2-2-2 に示す。加工の瞬間に金型温度は最高で約 73°Cまで上昇するが、すぐに拡散され 40°C前後まで下降する。ダイの切刃近傍は加工の際、常にこのような温度の急上昇と急下降が繰り返されていることが判明した。

表 2-2-1 プレス加工条件

製品形状	ギア形状再現品
被加工材鋼種	SPHC-P (板厚=6.0mm, $\sigma=360\text{N/mm}^2$)
プレス試験機	UL-4000
金型材質	
パンチ	マトリックスハイス鋼 (63HRC \pm 0.5)
ダイ	冷間ダイス鋼 SKD11
硬質皮膜	有り
潤滑油	A 社製潤滑油 a
加工速度	35SPM
連続強制潤滑システム	無し

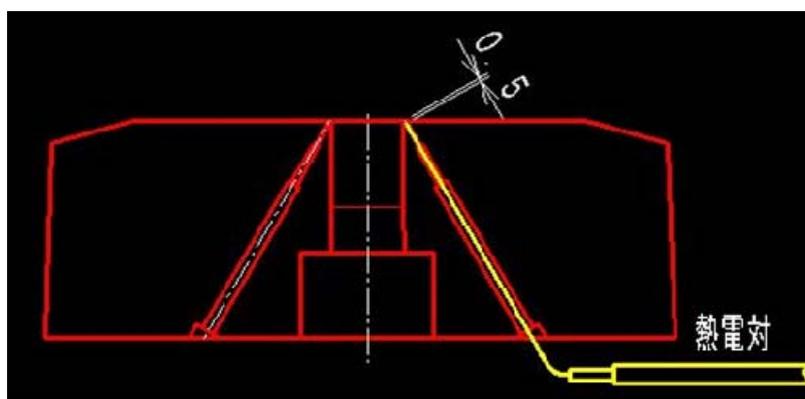


図 2-2-1 ダイ刃先近傍への熱電対の装着図

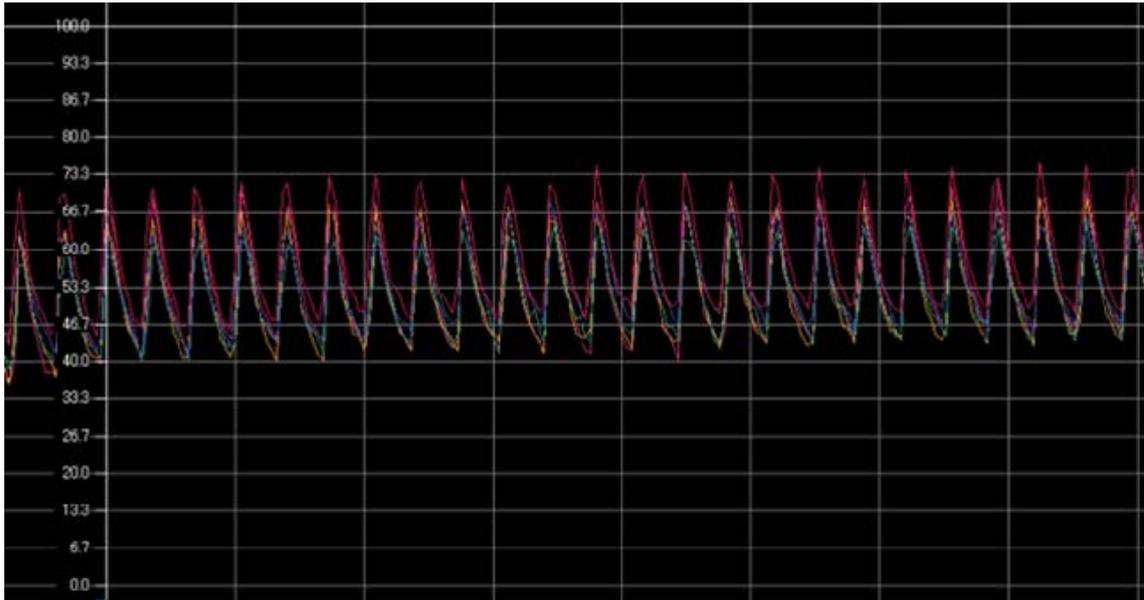


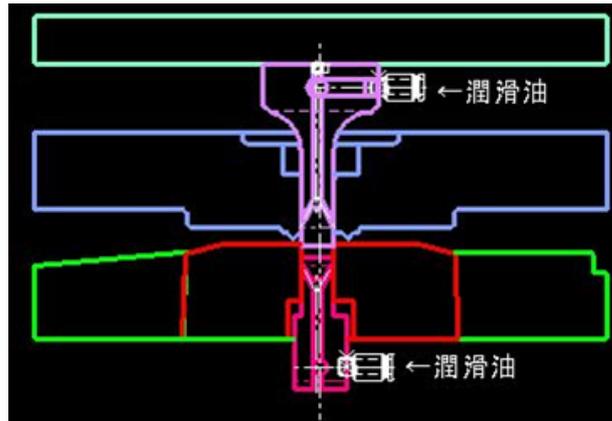
図 2-2-2 プレス加工時のダイ刃先付近の温度変化

2-2-2 金型温度制御システムの導入

金型刃先の温度上昇をより積極的に抑制して金型寿命の向上を図るために、金型温度制御システムを新たに開発し導入した。図 2-2-3 に本システムに採用する金型の構造を示す。パンチ側面およびノックアウト側面から潤滑油を吐出する構造になっている。本システムは、潤滑剤供給ポンプ、温度調節装置、金型表面への供給経路、回収・濾過装置から構成されており（図 2-2-4）、2-1 節で述べた連続強制潤滑システムと組み合わせて刃先の温度上昇を抑制する。潤滑油の温度は 15°C～25°C の範囲で制御される。本システムを作動した場合と作動させない場合でプレス加工試験を実施し、加工直後の製品温度を比較した。プレス加工条件を表 2-2-2 に示す。試験の結果、本システムを作動させることによって、作動させない場合と比較して排出時の製品温度を約 2°C 低下できることがわかった。

表 2-2-2 プレス加工条件

製品形状	ギア形状再現品
被加工材鋼種	SPHC-P（板厚=6.0mm， $\sigma=360\text{N/mm}^2$ ）
プレス試験機	UL-4000
金型材質	
パンチ	マトリックスハイス鋼（63HRC \pm 0.5）
ダイ	冷間ダイス鋼
硬質皮膜	有り
潤滑油	A 社製潤滑油 a
加工速度	80SPM
連続強制潤滑システム， 金型温度制御システム	作動と非作動を比較



- ・パンチ：φ1.6穴6ヶ所から潤滑油を塗出
- ・ロックアウト：φ1.6穴6ヶ所から潤滑油を塗出

図 2-2-3 潤滑油吐出穴を設けた金型の構造図

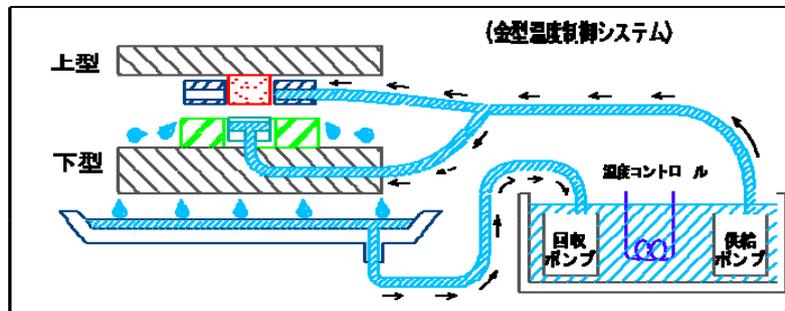


図 2-2-4 金型温度制御システムの概略

2-2-3 連続運転試験

金型温度制御システムを用いた連続運プレス加工試験を実施するにあたり、強制潤滑システムとの併用に加えて、表面に微粒子ピーニング処理によってマイクロディンプルを付与した後に硬質皮膜を成膜したパンチを使用した。これによりハイサイクル成形時の金型寿命を評価した。プレス加工条件を表 2-2-3 に示す。金型寿命に及ぼす微粒子ピーニング処理の効果に関する詳細については、2-4 節を参照されたい。

試験の結果、10 万ショット加工後も被加工材料凝着及び金型摩耗が少なく目標とする金型寿命を達成できた。2-4-3 節で詳述するように金型温度制御システムを使用してマイクロディンプルを有する金型面上に連続的に安定温度の潤滑油を供給することにより、被加工材の凝着を軽減し金型の長寿命化が実現できることが判明した。

表 2-2-3 プレス加工条件

製品形状	ギア形状再現品
被加工材鋼種	SPHC-P (板厚=6.0mm, $\sigma=360\text{N/mm}^2$)
プレス試験機	UL-4000
金型材質	パンチ, ダイともにマトリックスハイス鋼 (63HRC \pm 0.5)
微粒子ピーニング処理	有り
硬質皮膜	Ti系硬質皮膜
潤滑油	A社製潤滑油 a
加工速度	80SPM (切断速度 200mm/sec)
連続強制潤滑システム 金型温度制御システム	作動

2-2-4 小括

ハイサイクル成形においては、金型は常に温度の上昇・下降を繰り返しており、被加工材に加わる塑性負荷の増大に比例して排出時の温度も高まり、被加工材と金型の凝着が起りやすい状態となっている。金型温度制御システムを使用して、温調潤滑油を直接金型内に供給することにより、高速連続プレス加工時の製品温度が抑えられ、凝着を軽減できると考えられる。微粒子ピーニング処理と金型温度制御システムを併用することにより金型の長寿命化（10万ショット/1研磨）が達成できた。

2-3 新金型構造の開発（昭和精工(株), (株)不二ダブリュピーシー）

2-3-1 テスト金型の改造設計・製作

本年度は、V形突起の高さは専用ダイクッションで押し込むことが可能な値とした。また、ダイ側にもV形突起を設けることで、せん断初期からスムーズな材料の流動を図り破断面が出ないように改良にした。対象となる製品はギア形状を再現した形状とし、材質はSPHC-Pで板厚は6.0mmとした。被加工材料凝着防止のためにパンチ側面に給油穴を設けた。またダレ対策として前工程にシェービング加工を追加することも試みた。

2-3-2 テスト金型の評価

上述の金型を用いて連続プレス加工試験を実施した。この試験は2-2-4節で実施した試験と同一である。プレス試験条件を表2-3-1に示す。10万ショット加工後のパンチおよびダイ表面には被加工材料の凝着や金型摩耗が少なく（図2-3-1～2-3-3）、型寿命10万ショット/1研磨を達成できることが明らかとなった。これには金型のクリアランスが比較的大きいことと、微粒子ピーニング処理によってパンチ表面に形成されたマイクロディンプルが潤滑油の保持性を高めた効果が大きいと考えられる。しかし、金型寿命が確保できた一方で、製品には破断面とダレが観察され有効せん断面率は84%程度にとどまっており、今後に課題を残した。

表 2-3-1 プレス加工条件

製品形状	ギア形状再現品
被加工材鋼種	SPHC-P (板厚=6.0mm, $\sigma=360\text{N/mm}^2$)
プレス試験機	UL-4000
金型材質	パンチ, ダイともにマトリックスハイス鋼 (63HRC \pm 0.5)
金型クリアランス	0.06mm
V形突起	
ストリップ側	H=0.9mm, D=2.8mm
ダイ側	無し
ダイクッション	上下 12.5tonf 設定
微粒子ピーニング処理	有り
硬質皮膜	Ti 系硬質皮膜
潤滑油	A 社製潤滑油 a
加工速度	80SPM (切断速度 200mm/sec)
連続強制潤滑システム 金型温度制御システム	作動



図 2-3-1 ダイ



図 2-3-2 パンチ

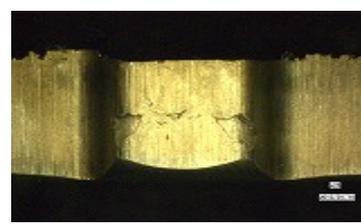


図 2-3-3 10万ショット後製品

2-3-4 ダイ側へのV形突起の付与による有効せん断面率向上

金型のクリアランスが比較的大きく (0.06mm), かつパンチ側に微粒子ピーニング処理を施した場合に金型寿命が目標値である 10 万ショット/1 研磨を達成できることが明らかになったが, 製品側に破断面とダレが観察され有効せん断面率が充分でないことが課題として残った. そこで, ストリップ側に加えてダイ側にもV形突起を追加して, 製品の有効せん断面率に及ぼす影響を調査した. 表 2-3-2 にプレス加工条件を示す. 有効せん断面率の向上のために金型クリアランスを 0.03mm と小さくした. また, より過酷な塑性流動となるためダイクッションの荷重設定を 30.0tonf に増加した.

試験の結果, 製品にはダレが観察されるものの, 破断面は観察されず, 有効せん断面率は (有効せん断面率=ダレ量 0.75/板厚 5.8 \times 100) 87.1%にまで向上した. しかし, 加工条件がより過酷になったことに起因してパンチに凝着が発生した.

さらに有効せん断面率を高めるために, V形突起を高くして切刃に近づけるよう金型構造を改良してプレス加工試験を実施した. 図 2-3-4 に製品断面の外界写真を示す. 有効せん断面率は 87.1%から 90%に向上したが, 1 万ショット付近からダイ, パンチ共に被加工材料の凝着と硬質皮膜の剥離が発生した.

表 2-3-2 プレステスト条件

製品形状	ギア形状再現品
被加工材鋼種	SPHC-P (板厚=6.0mm, $\sigma=360\text{N/mm}^2$)
プレス試験機	UL-4000
金型材質	パンチ, ダイともにマトリックスハイス鋼 (63HRC \pm 0.5)
金型クリアランス	0.03mm
V形状	
ストリッパ側	H=0.9mm, D=2.0mm
ダイ側	H=0.9mm, D=2.0mm
ダイクッション	上下 30.0tonf 設定
微粒子ピーニング処理	有り
硬質皮膜	Ti 系硬質皮膜
潤滑油	A 社製潤滑油 a
加工速度	80SPM (切断速度 200mm/sec)
連続強制潤滑システム 金型温度制御システム	作動

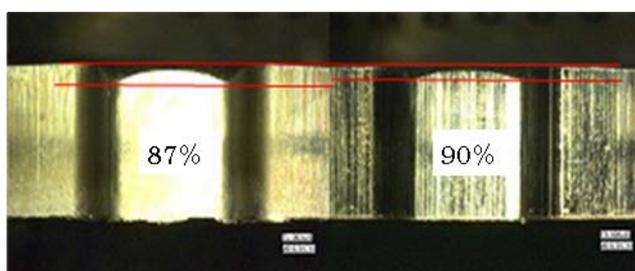


図 2-3-4 製品せん断面の外観

2-3-5 パンチにかかる荷重測定

ロードセルをパンチの裏に装着してプレス加工中にパンチにかかる荷重を測定し、V形突起の有無による荷重の変化を比較した。その結果、V形突起があるほうが、6~8tonf 荷重が増加することが判明した。

2-3-6 シェービング加工の導入による有効せん断面率向上

前工程にシェービング加工を加えることにより製品ダレの低減を試みた。その結果、製品フロント側のダレ量は 0.08mm とほとんどなくなったが、破断面が観察される。前後で歯数が違うために荷重バランスが悪く材料が寄っている。製品フロント側とは異なり、製品リア側に破断はないがダレが発生した。

2-3-7 小括

10万ショット連続運転試験では、微粒子ピーニング処理が金型の寿命向上に有効であることが確認された。ただし、ダイ側にものみ施しても、ストリッパのV形突起による負荷に対しては効果がなく、パンチ側の被加工材料凝着対策には有効ではなかった。従ってパンチに微粒子ピーニング処理を施す必要がある。また、この時の金型設定では製品精度、面粗度、有効せん断面率が不十分であった。ダイ側にV形突起を付けることで破断面はなくなりせん断面率は向上するが、塑性流動変化によるパンチへの負荷が増大し、微粒子ピーニング処理を施しても被加工材料の凝着が発生した。ロードセルによりパンチにかかる荷重を測定した結果からも、ダイ側のV形突起の影響でパンチに側圧がかかり、荷重が6~8tonf 増加することが判明した。さらにV形突起を高くして切刃に近づけたところ、ダレは多少少なくなった。

がダイ側にも被加工材料の凝着が発生し、パンチは硬質皮膜の剥離が発生した。有効せん断面率を 100% (ダレレス) にするためには、シェービング工程を設けることで効果がありそうだが、取り代・クリアランスの設定、型寿命への影響、切粉の除去等、今後の試験に課題が残る。

2-4 金型表面制御技術の開発 (神奈川県産業技術センター, 昭和精工(株), (株)不二ダブリュピーシー)

2-4-1 金型損傷状況の調査

ハイサイクル精密せん断加工は従来のプレス加工では想定しない過酷な条件下での加工となるので、目標となる金型寿命 (10 万ショット/1 回研磨) を達成することが本開発技術の量産性を確立する上で極めて重要となる。本節では金型の損傷メカニズム解明とその対策技術の開発について時系列的に整理して示す。金型寿命を延長するためにはハイサイクル成形による金型の損傷状況を詳細に把握することが基本的に重要である。まず、目標とする速度でプレス加工した場合の金型の損傷状況を詳細に調査した。プレス加工条件を表 2-4-1 に示す。連続強制潤滑システム、金型温度制御システムを作動させて状態で、加工速度の目標値である 80SPM (200mm/sec) にて 5 万ショットのプレス加工を実施した後、金型の損傷状況を調査した。本ハイサイクル精密せん断加工においては特にパンチ側の損傷が激しいことが判明したので、以下、パンチの損傷状況について特に記述する。

図 2-4-1 に 5 万ショット加工後のパンチ凸部側面の損傷状況を走査型電子顕微鏡 (SEM) により観察した結果を示す。繰返しのハイサイクル成形により硬質皮膜は完全に除去されており基材のマトリックスハイス鋼が露出している。さらに基材の摩耗も著しく上面付近の R 部分は脱落し、基材表面には横方向に多数のき裂が発生している。また、パンチ側面をより低倍率で観察すると (図 2-4-2)、多数のき裂が観察される領域よりも根本側には被加工材が凝着した領域があり、被加工材の板厚に相当する上面から約 6mm の付近まで硬質皮膜は完全に除去されていることがわかる。さらに、パンチ凸部を上面側から観察すると (図 2-4-3)、切刃に近い付近がパンチの根本側へ向かってダレて塑性変形している。

以上の観察結果から金型の損傷状況をまとめると以下ようになる。まず、パンチが被加工材を打抜く際にパンチ先端部の上面には衝撃的な圧縮応力が左右する。また、側面には非加工材との摩擦によって圧縮方向のせん断応力が、さらに、切刃付近には圧縮応力によってパンチが外側へ拡がろうとするので曲げ応力が作用すると考えられる。次に、逆に打抜き後パンチが引き抜かれる際には、パンチ側面が被加工材と摩擦して側面に引張方向のせん断応力が発生する。その結果、パンチの側面は繰返しのせん断応力によって摩耗し基材表面にはき裂が発生するとともに切刃付近は曲げ応力によって塑性変形すると考えられる。後述するように金型損傷には被加工材とパンチ側面界面での潤滑油切れによるせん断応力の助長が大きな影響を及ぼすことが判明するが、この時点においてはパンチ自身の強度が不十分であるために打ち抜き時に発生する応力に耐えきれず摩耗および塑性変形すると判断された。

表 2-4-1 プレス加工条件

製品形状	ギア形状再現品
金型材質	
パンチ	マトリックスハイス鋼 (63HRC±0.5)
ダイ	粉末ハイス鋼 (61HRC±0.5)
硬質皮膜	Ti 系硬質皮膜
潤滑油	A 社製潤滑油 a
加工速度	80SPM (切断速度 200mm/sec)

連続強制潤滑システム 金型温度制御システム	作動
加工回数	5万ショット加工後に損傷状況を調査

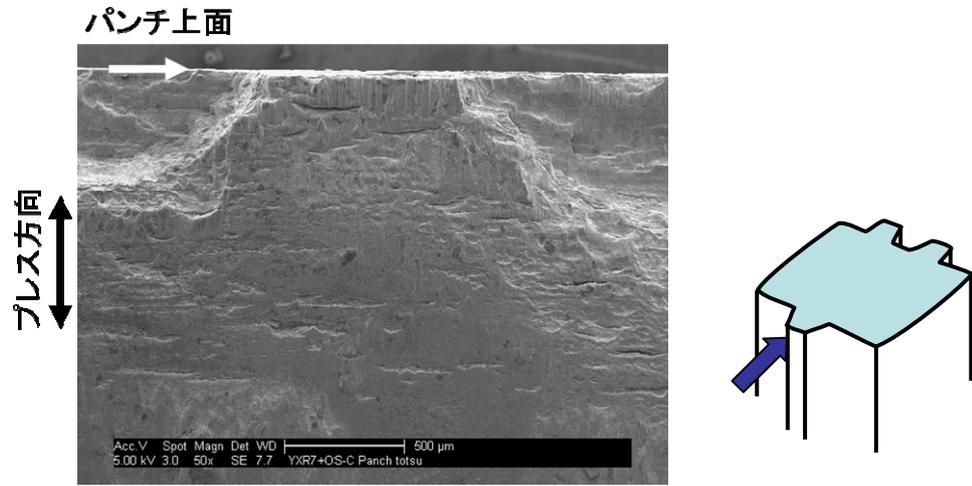


図 2-4-1 パンチ側面（上面近傍）の損傷状況

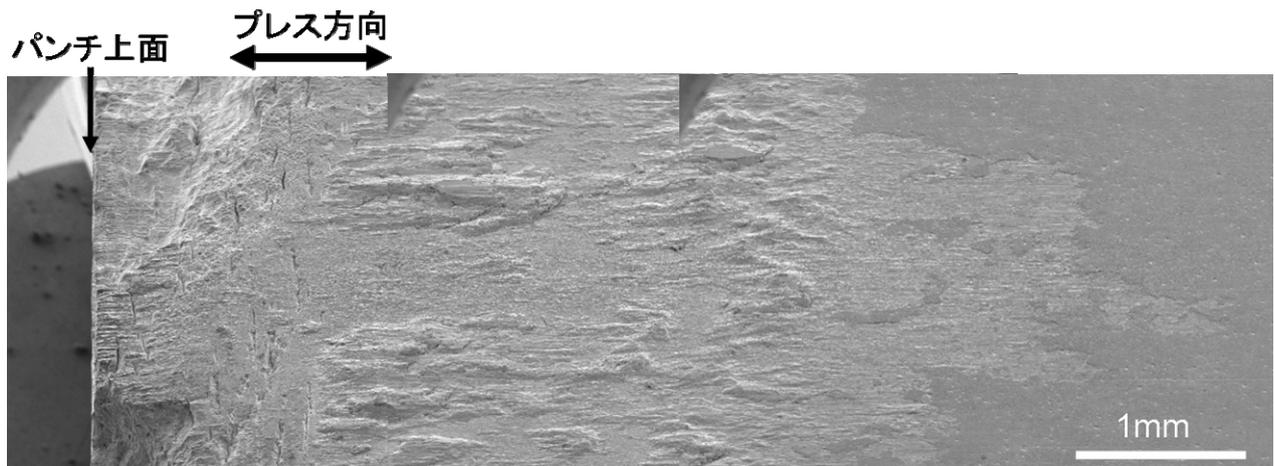


図 2-4-2 パンチ側面の損傷状況

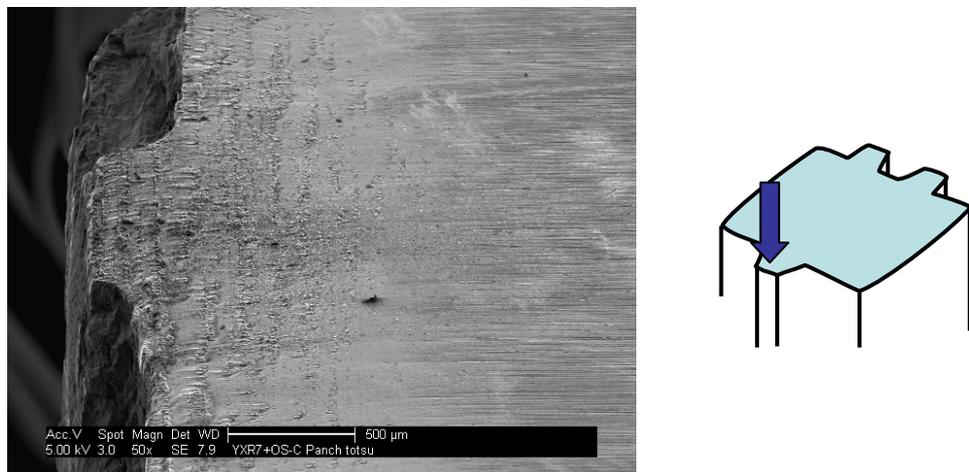


図 2-4-3 パンチ上面の損傷状況

2-4-2 金型材質の検討

前節までの金型損傷状況調査の結果を受けて、パンチ材質を 63HRC のマトリックスハイス鋼からより高強度の粉末ハイス鋼 (HRC69) に変更して再度プレステストを実施した。このテストではダイに超硬合金を使用した。2万3千ショット加工した段階でダイにチッピングが発生したために、ダイをマトリックスハイス鋼に交換してプレス加工試験を続行したが、4万3千ショット加工した時点でパンチに大きな欠けが生じたので試験を中止した。プレス加工条件を表 2-4-2 に示す。

図 2-4-4 に破損したパンチの破面形態を光学顕微鏡で観察した結果を示す。破面には疲労破壊に特有の縞状模様が多数観察され、この縞状模様の拡がる様子からき裂の発生箇所を推定すると、パンチ R 部の複数の箇所がき裂の起点であると考えられた。このような破面の形態から、パンチの高強度化によって塑性変形が抑制された反面、高強度化の代償として靱性が劣化した結果、疲労破壊を引き起こしたと考えられる。金型の脆性的な破損は製品の不良だけでなく、金型全体あるいは加工システム全体に深刻な故障を起こす危険があり注意を要する。また、粉末ハイス鋼よりもさらに高強度な金型材料として超硬合金の適用が考えられるが、超硬合金を用いたダイがチッピングを起こして破損したことからも解るとおり、金型に衝撃的な荷重が加わるハイサイクル成形においては、これらの靱性に乏しい金型材料を適用するには現状では問題が大きいと考えられる。

表 2-4-2 粉末ハイス鋼 (69HRC) パンチによるプレステスト実験

製品形状	ギア形状再現品
金型材質	
パンチ	粉末ハイス鋼 (69HRC±0.5)
ダイ	超硬合金で 23,000 ショット加工した時点でチッピング発生、 それ以後マトリックスハイス鋼 (63HRC±0.5) に交換
硬質皮膜	Ti 系硬質皮膜
潤滑油	A 社製潤滑油 a
加工速度	SPM80 (切断速度 200mm/sec)
連続強制潤滑システム 金型温度制御システム	作動
加工回数	4.3 万ショットでパンチ破損、損傷状況を調査

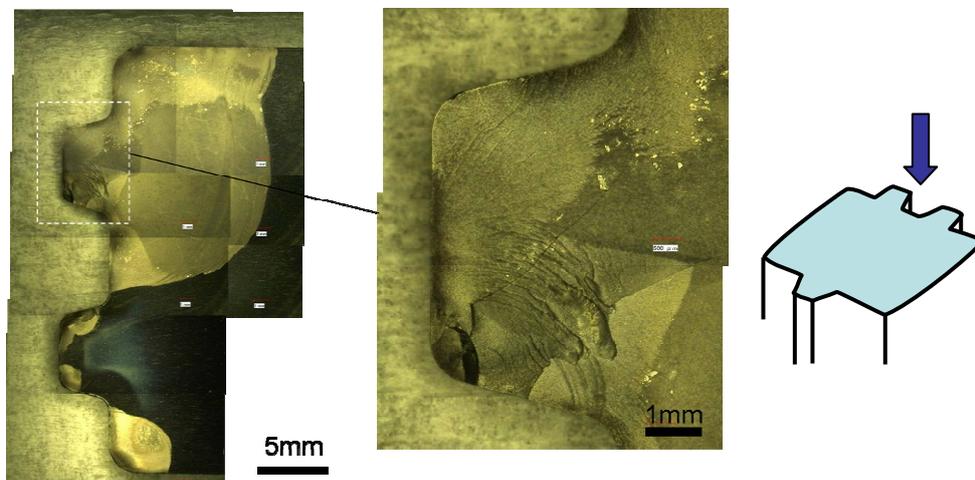


図 2-4-4 粉末ハイス鋼 (69HRC) パンチの損傷状況

2-4-3 金型損傷メカニズムの解明

前節までの結果から、金型の損傷状況について詳細に把握することができたが、数万ショットのプレス加工後に損傷状況を調査しているために、硬質皮膜は除去され基材の摩耗も進行しており、プレス加工の初期に起こる金型損傷のきっかけとなる事象については不明確なままであった。そこで、1000 ショット程度で加工を中止した場合のパンチの損傷状況を調査した。表 2-4-3 にプレス加工条件を示す。

初期損傷の原因として考えられる現象は、①硬質皮膜の剥離による基材の露出、②硬質皮膜の摩耗による基材の露出、③硬質皮膜上への被加工材の凝着が考えられる。①は硬質皮膜と基材界面の密着性の問題であり硬質皮膜の成膜工程上の課題と言える。②は膜硬さや潤滑油の保持性の問題である。③は潤滑油の保持性が主たる問題となる。図 2-4-5 に 1000 ショットプレス加工後のパンチ側面の走査型電子顕微鏡写真を示す。パンチ先端の R 部の硬質皮膜が剥離している以外は硬質皮膜の大規模な剥離は起こっていない。ただし、わずか 1000 ショットの加工にもかかわらず既にプレス方向に沿って被加工材が凝着していることがわかった。EPMA を用いてこの領域の化学組成を分析すると（図 2-4-6）凝着物に対応して Fe が明瞭に検出されることから被加工材の凝着であることが確認できる。したがって、被加工材は硬質皮膜の上に凝着していると考えられる。硬質皮膜が剥がれて基材が露出する様子をダイ側の例で図 2-4-7 に示す。硬質皮膜が基材界面から剥離するのではなく、基材ごとむしれるようにして剥がれている様子が見られる。パンチ側でも同様の現象が起きていると考えられる。

以上の結果から金型が損傷する機構は、まず、被加工材がプレステスト初期から硬質皮膜上に凝着し、これに起因してパンチ表面でのせん断応力が增大することによって基材ごとむしれるようにして硬質皮膜が剥がれて基材が露出すると考えられる。したがって、金型寿命を向上するにはプレス加工の初期に起こる硬質皮膜状への被加工材の凝着を抑制することが肝要である。

表 2-4-3 プレス加工条件

製品形状	ギア形状再現品
金型材質	
パンチ	マトリックスハイス鋼 (63HRC±0.5)
ダイ	粉末ハイス鋼 (61HRC±0.5)
硬質皮膜	Ti 系硬質皮膜
潤滑油	A 社製潤滑油 a
加工速度	SPM80 (切断速度 200mm/sec)
連続強制潤滑システム 金型温度制御システム	作動
加工回数	1000 ショットで加工中止、損傷状況を調査

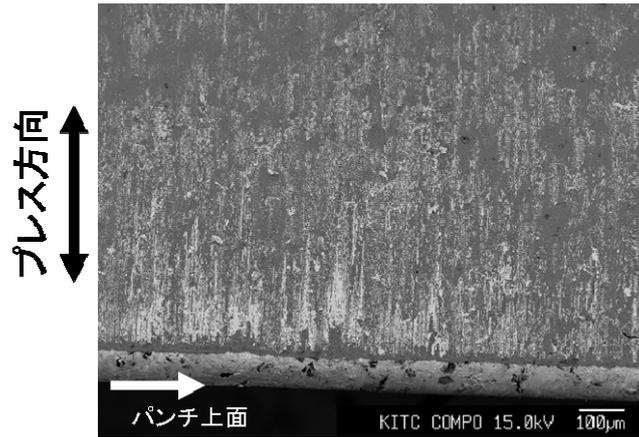


図 2-4-5 1000 ショットで中断したパンチ上面付近の損傷状況 (SEM による反射電子像)

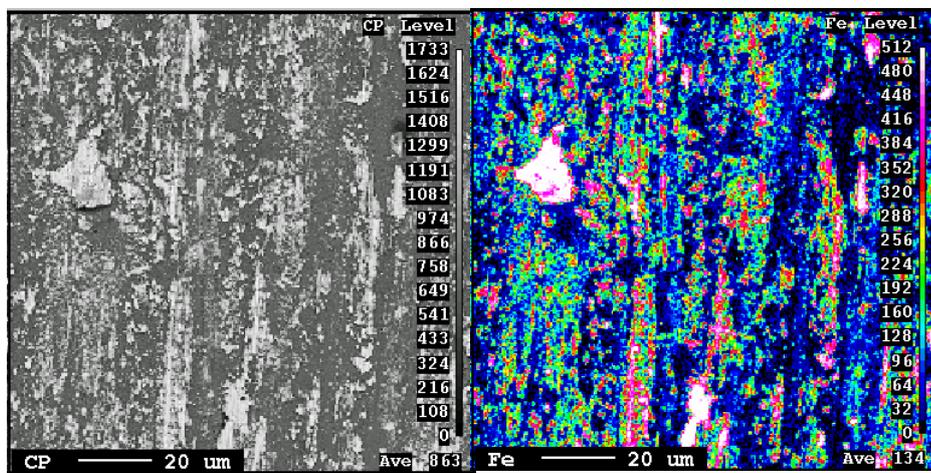


図 2-4-6 パンチ上面近傍側面の EPMA による元素分析結果

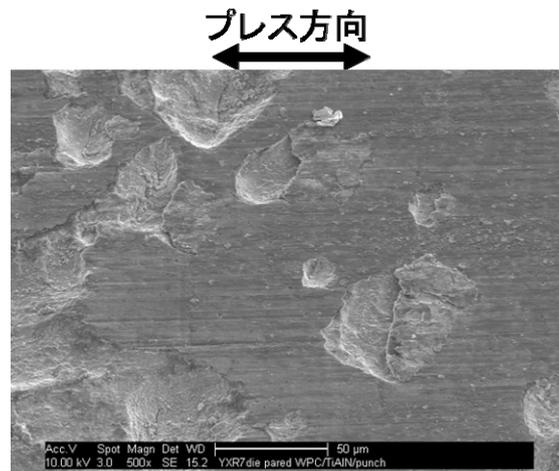


図 2-4-7 ダイ側の損傷の例 (材質:マトリックスハイス鋼, 硬質皮膜: Ti 系硬質皮膜)

2-4-4 微粒子ピーニングの適用とその効果

プレス加工の初期から硬質皮膜状に非加工材が凝着する原因は、潤滑油がパンチと被加工材界面に十分に供給されておらず潤滑油切れを起こしているためと考えられる。連続強制潤滑システムを作動させても、せん断加工時の切刃近傍では潤滑油切れが発生していることが懸念される。そこで、微粒子ピーニング処理によりパンチの表面にマイクロディンプルを付与して、油溜まりとして機能させる方法を試

みた。表 2-4-4 に微粒子ピーニングの効果を検証するためのプレステスト条件を示す。

図 2-4-8 に平板試験片に微粒子ピーニング処理を施した場合の SEM による表面観察結果を示す。表面に緩やかな凹凸を有するマイクロディンプルが形成されており、このマイクロディンプルのくぼみ部分に潤滑油が保持されて凝着を抑制する効果が期待できる。プレステストは微粒子ピーニング処理後に Ti 系硬質皮膜を成膜したパンチを用いて実施した。ダイ側には微粒子ピーニング処理を施さなかった。

図 2-4-9 に 10 万ショット加工後のパンチ凸部側面の損傷状況を SEM により観察した結果を示す。図 2-4-2 と比較すると明らかなように、微粒子ピーニング処理を施したパンチは 10 万ショット加工後も従来のパンチと比較して損傷の程度は極めて少ない。パンチ上面から 0.4mm 程度までの領域で摩耗による基材の露出や硬質皮膜上への凝着が観察されるが、それより根本側では凝着もほとんどなく硬質皮膜も維持されており損傷の程度は極めて少ない。微粒子ピーニング処理をしていないパンチが 5 万ショット加工で上面から約 6mm まで著しい基材の摩耗損傷を受けていたことと比較すると格段の寿命向上といえる。上面から 1mm 付近の領域を高倍率で観察すると（図 2-4-10）若干の凝着が観察される箇所もあるが、ほとんど凝着が認められずマイクロディンプル上に硬質皮膜が完全に残っていることがわかる。

以上のように、微粒子ピーニング処理によってパンチ表面にマイクロディンプルを付与することによって潤滑油の保持効果を高め被加工材の凝着を抑制し、金型寿命を目標値である 10 万ショット/1 研磨にまで向上させることができた。ただし、2-2 節、2-3 節で述べたように、この時の製品には破断面やダレが観察され、有効せん断面率は 84%程度であった。このため、2-3 節で述べたようにダイ側に V 形突起を付与するなど金型構造を改良すると、破断面の発生を抑制し有効せん断面率を 90%程度にまで向上できるが、一方で、凝着が再び激しくなり、金型寿命が 2 万ショット/1 研磨程度にまで劣化する結果となった。目標値の金型寿命を達成しつつ製品の有効せん断面率を確保するには、さらに検討が必要である。

表 2-4-4 プレス加工条件

製品形状	ギア形状再現品
金型材質	
パンチ	マトリックスハイス鋼 (63HRC±0.5)
ダイ	粉末ハイス鋼 (61HRC±0.5)
硬質皮膜	
膜種	Ti 系硬質皮膜
潤滑油	A 社製潤滑油 a
微粒子ピーニング処理	パンチ側のみに処理
加工速度	SPM80 (切断速度 200mm/sec)
連続強制潤滑システム 金型温度制御システム	作動
加工回数	10 万ショット加工終了後に損傷状況を調査

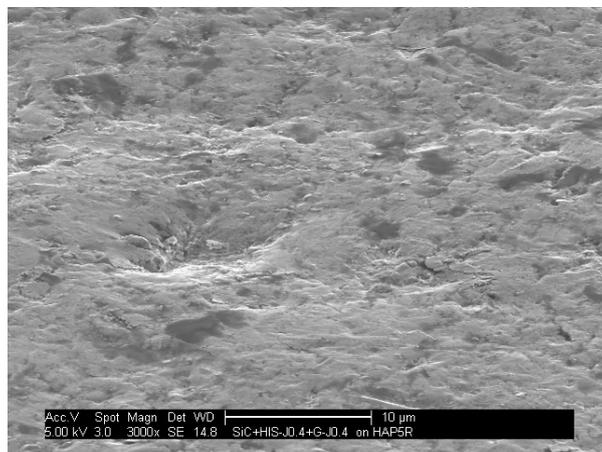


図 2-4-8 微粒子ピーニング処理により形成されたマイクロディンプル

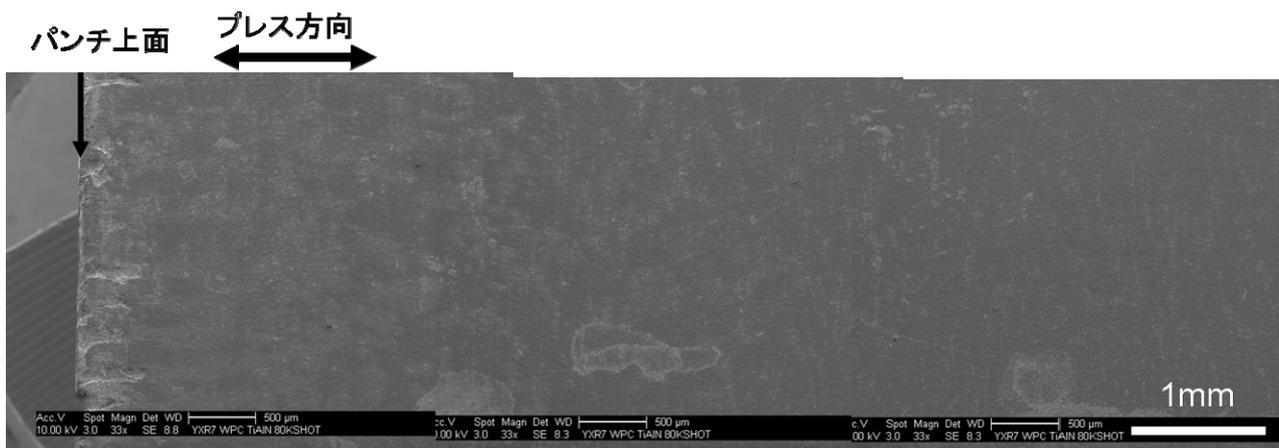


図 2-4-9 パンチ側面の損傷状況

プレス方向
←→

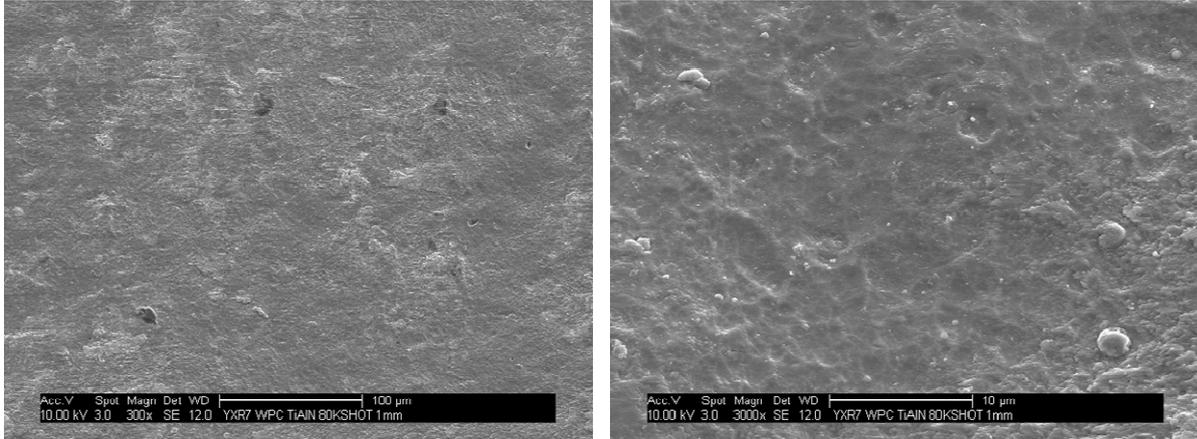


図 2-4-10 パンチ上面から約 1mm 付近の表面の状況

2-4-5 小括

ハイサイクル成形における金型の損傷機構を調査した結果、プレス加工の初期段階で起こる被加工材の凝着が金型損傷の引き金となることが判明した。つまり、加工速度が早く刃先温度も上昇しやすい状況にあることから、潤滑油が金型刃先近傍に十分に供給されず凝着を起こすと考えられる。微粒子ピーニング処理を用いてパンチ表面にマイクロディンプルを付与すると耐凝着性は著しく向上し、金型寿命の目標である 10 万ショット/1 研磨を達成できることが明らかになった。ただし、このプレス条件下では製品側に破断面やダレが観察され有効せん断面率は 84%程度と不十分であることも明かとなった。破断面の発生とダレを抑制するために金型構造を改良すると再び凝着が顕著になり金型寿命を劣化させた。有効せん断面率の確保と金型寿命をハイサイクル成形において両立するには、より過酷な加工条件下での凝着防止策を検討する必要がある、金型構造や硬質皮膜、微粒子ピーニング条件などの金型設計技術の高度化に加えて、潤滑油の設計、パンチの動作などさらに高度かつ精密な制御が必要である。

第3章 全体総括

3-1 開発目標値に対する到達度

本研究開発の目標達成状況は、せん断面寸法精度が $\pm 0.012\text{mm}$ 、有効せん断面率が最高値で90%、加工速度が最速で80SPM (200mm/sec)、型寿命が最長で10万ショット/1回研磨であった。現状では有効せん断面率と金型寿命を両立することが課題として残っていることを考慮すると、開発目標に対して88%の達成状況にあると考えている。実用化を視野に入れた基礎研究の段階は既に完了したので、これまでのデータをフィードバックしつつ更なる技術の高度化を図っていく予定である。

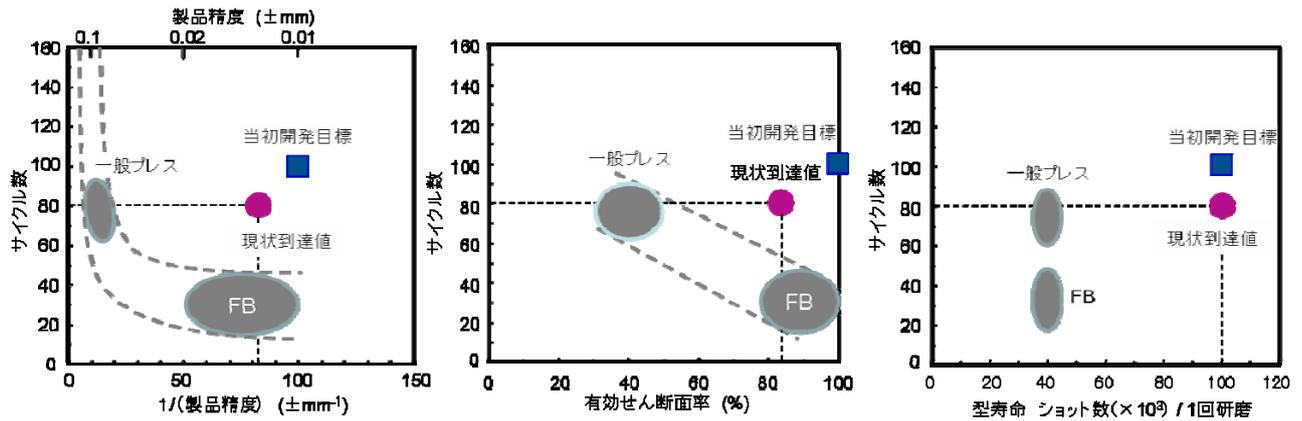
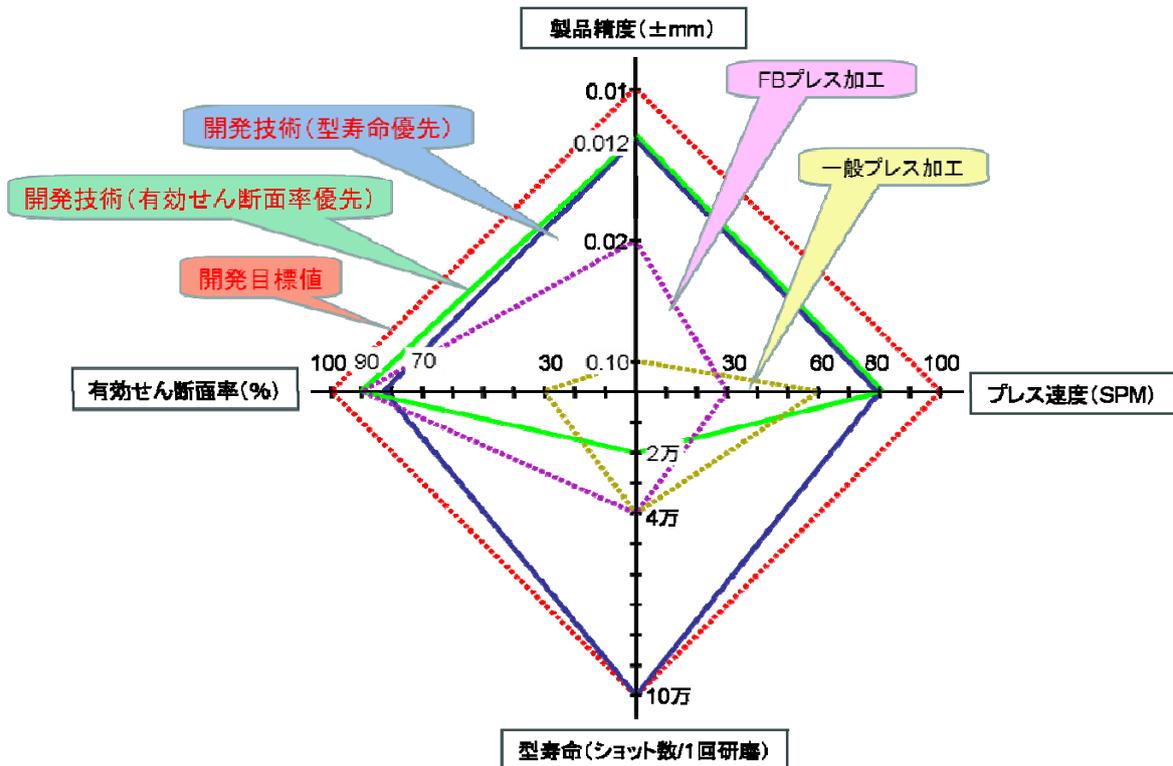


図 3-1 開発目標に対する達成度 (型寿命 10 万ショット/研磨達成時)



型寿命優先：10万ショット/研磨を達成できる金型構造

有効せん断面率優先：有効せん断面率90%を達成できる金型構造

図 3-2 本研究開発成果の優位性

3-2 現在の市場動向及びその対応

環境負荷低減のために国家目標として掲げる「2020年の温室効果ガス排出量の1990年比25%低減目標」を達成するにあたり、自動車産業分野では電気自動車などCO₂やNO_xを出さない車への転換が加速されるとともに、ベースとなる車体や駆動部品等の軽量化が求められている。また、自動車メーカー及び部品メーカーの海外生産が拡大するなかで、国際競争力のあるコスト低減にあたり、高性能と高生産性の両立が求められている。

その中で、金属プレス加工は生産性が高く部品の低コスト化に有効なプロセスであることから、金属プレス加工の採用を拡大するニーズがある。

3-2-2 製品化の見通し

上記のニーズを実現するために、一般プレス加工を用いつつファインブランキング工法並の製品精度を確保し、ファインブランキング工法比3倍の生産性と従来比3倍の金型寿命を兼ね備えるプレス成形加工技術を開発し、これを「SHOWA-KUNST システム」と命名して製品化することにした。更なる高度化の余地は残されているが、製品によってはすでに量産できる状況にあると考えている。

3-2-3 「SHOWA-KUNST システム」のスペックと構成

・システムの性能

生産速度	80ストローク/min (プレス速度200mm/sec)
せん断面寸法精度	±0.012mm
有効せん断面率	90%

・システムの構成 (図 5-1)

プレス本体、潤滑油制御システム、及び **SHOWA-KUNST** 金型から構成される。中でも、**SHOWA-KUNST** 金型は、金型材質、表面処理、潤滑制御、ファインブランキング構造等の開発技術を盛り込んでいる。(特許2件出願中)

・発明の名称「精密塑性加工方法及び精密塑性加工装置」

出願日 平成21年8月26日 出願番号 特願2009-195495

・発明の名称「潤滑油供給装置及び潤滑油供給方法」

出願日 平成21年8月26日 出願番号 特願2009-195498



図 4-1 SHOWA-KUNST システムの構成

3-2-4 事業化の見通し

SHOWA-KUNST システムは自動車部品のプレス加工をターゲットとして開発されたが、用途としては車に限るものではなく、航空機・医療・発電などこれからも日本に残るであろう産業向けの多くのプレス加工、あるいは冷間鍛造加工に応用ができる。

具体的には図 5-2 のように、SHOWA-KUNST システムで成形した部品の評価を自動車メーカーともに行い、次の段階では実際の部品設計開発から参画する。将来的には海外も含めた金属プレス加工メーカーに成形技術を含めた販売を行っていく計画である。

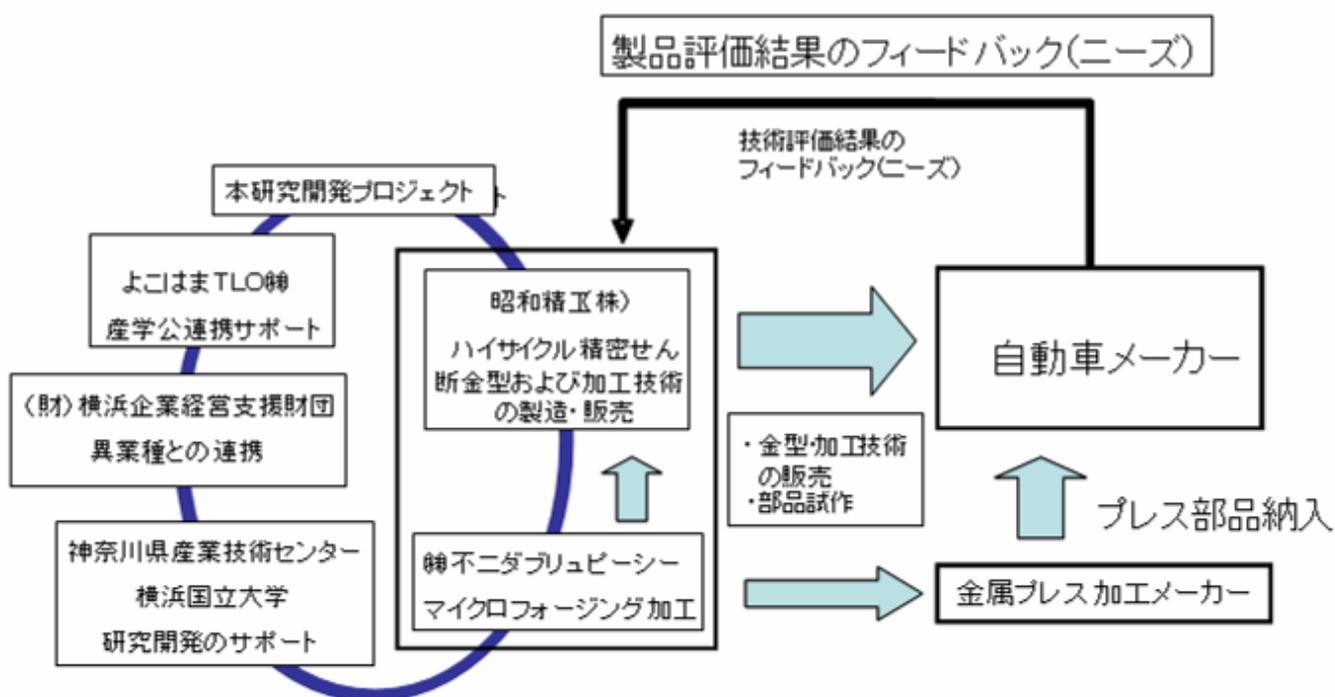


図 4-2 SHOWA-KUNST システム事業化へのスキーム

3-3 結言

連続強制潤滑システム，金型温度制御システム，新金型構造，金型表面制御技術を融合し，これまでにないハイサイクル精密せん断加工システムの開発に取り組んだ．その結果，生産速度 80 ストローク/min（プレス速度 200mm/SEC），せん断寸法精度 $\pm 0.012\text{mm}$ ，有効せん断率 90%のスペックを有する新しいハイサイクル精密せん断加工システムの開発に成功した．金型寿命と有効せん断率との両立について改良の余地があるものの，製品の種類によっては既に量産できる技術水準に達していると考えている．

本研究開発プロジェクト終了後は成形した部品の評価を自動車メーカーとともにを行い，さらに次の段階では実際の部品設計開発から参画できるよう事業を展開する予定である．また，将来的には海外も含めた金属プレス加工メーカーに成形技術を含めた販売を行っていく計画である．

また，これまでの技術的知見をもとに加工技術の更なる高度化にも引き続き取り組んで，有効せん断率と金型寿命を両立したハイサイクル精密せん断加工システムへと発展させたいと考えている．