

平成24年度戦略基盤技術高度化支援事業

「精密板鍛造の材料歩留りと
金型寿命及び金型部品品質向上による低コスト化技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成25年3月

委託者 中国経済産業局

委託先 財団法人鳥取県産業振興機構

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
1-2 研究体制	2
1-3 成果概要	6
1-4 当該研究開発の連絡窓口	8
第2章 本論	
2-1 材料歩留まりの向上による低コスト技術の開発	9
2-1-1 棒材、パイプ材を素材にして加工するための技術開発	9
2-1-1-1 トランスファ化するための位置決め技術の開発	13
2-1-2 フレーム接合技術の開発	15
2-2 金型寿命と品質向上による低コスト技術の開発	16
2-2-1 金型の品質向上を目指した5軸非接触測定機の利用技術の確立	16
2-2-2 金型部品の寿命向上を目指した鍛造シミュレーションの利用技術の確立	26
2-3 金型の耐久性を高めるためのコーティング及び潤滑油の最適化技術の確立	30
2-4 プロジェクトの運営管理	59
最終章 全体総括	
3-1 複数年の研究成果	59
3-2 研究開発後の課題・事業展開	62

第1章 研究開発概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 実施計画の細目

1) 研究の目的

国内のプレス加工業界は高精度を売りに発展してきたが、大手企業の海外進出に伴い技術が流出し、金型用工作機械の進歩により海外でも精密金型が作れるようになり、国内でのプレス加工品の受注が激減している。特に薄板での受注は新規に見込めず、機械加工で製作していた製品をプレス加工で行う板鍛造に取り組む企業が増加しているが、最近の材料費の高騰により価格が合わなくなってきた。

そのために材料の歩留りをよくする方法として、コイル材・板材から抜いて取るだけでなく、棒材・パイプ材を成形する方法を取り入れ、順送加工から新たにトランスファ加工と弊社の独自工法であるフレーム接合方式順送加工を採用し新規受注に結びつける。

又、生産時のコスト低減に効果のあるメンテナンス費用と、不良低減のためには金型の耐久性を高めるためのコーティング及び潤滑油の最適化技術の開発を行い、本来は、冷間鍛造用に開発された3次元成形シミュレーションを導入して生産トラブルを解決しようとするものである。測定についても、接触式測定や2次元の光学式測定機を使って測定しているが、どこが見えて測定できているのか不明で、微細な形状を測る測定機としては、精密板鍛造には使えない。そこで新たにレーザー光で接触なくて高精度で測定できる5軸の測定機を導入し、金型の形状と製品の形状との整合性をはかり、それをフィードバックして、理想の金型形状を作り出すことにより、製品完成までの金型部品の製作量の削減と調整時間の短縮を実現するものである。

[研究開発の目標]

項目	目標値
① 材料歩留りの向上による低コスト技術の開発	材料の有効利用率 現状 8~15% ⇒60%以上 (トランスファ加工) ⇒50%以上 (フレーム接合方式加工)
② 金型寿命と品質向上による低コスト技術の開発	金型部品製作後の再製作及び調整時間 1/2 以下
③ 金型の耐久性を高めるためのコーティング及び潤滑油の最適化技術の開発	金型部品の寿命 2倍以上 金型破損までの寿命 2倍以上 微細歯形形状の金型を作成し厚み4ミリの材料を抜き破断なく生産

2) 研究の概要

近年の自動車業界からの低コスト化のニーズに応えるための最有力加工技術である、精密板鍛造において

- ①材料歩留りの向上による低コスト技術の開発
- ②金型寿命と品質向上による低コスト技術の開発
- ③金型の耐久性を高めるためのコーティング及び潤滑油の最適化技術の開発

この技術を確立することにより製品の競争力が高まり、自動車だけでなく、情報家電、産業機械、精密機器、医療分野に応用拡大

3) プロジェクトの管理・運営

(実施担当機関：公益財団法人鳥取県産業振興機構)

本研究開発の円滑な運営と推進、実施内容の課題抽出、検討、推進を図るために、今年度2回程度の全体会議（プロジェクト推進会議）を開催し、研究開発の進捗状況の確認と研究実施者相互の連絡体制を密にした進捗情報の共有をすすめる。また、研究開発成果について、報告書作成の検討及び取りまとめを行なう。

①事業管理者

- 公益財団法人鳥取県産業振興機構（最寄駅：J R 西日本因美線東郡家駅）
 〒689-1112 鳥取県鳥取市若葉台南7丁目5番1号
 研究実施場所（主たる研究実施場所については、下線表記のこと。）
株式会社寺方工作所（最寄り駅：J R 西日本山陰本線下北条駅）
 〒689-2103 鳥取県東伯郡北栄町田井175
 株式会社寺方工作所大栄工場（最寄り駅：J R 西日本山陰本線倉吉駅）
 〒689-2202 鳥取県東伯郡北栄町東園238-1
 株式会社プレス技術研究所（最寄り駅：大阪市営地下鉄長堀鶴見緑地線横堤駅）
 〒538-0052 大阪府大阪市鶴見区横堤1丁目5番地44号
 地方独立行政法人鳥取県産業技術センター（最寄り駅：J R 西日本山陰本線伯耆大山駅）
 〒689-3522 鳥取県米子市日下1247

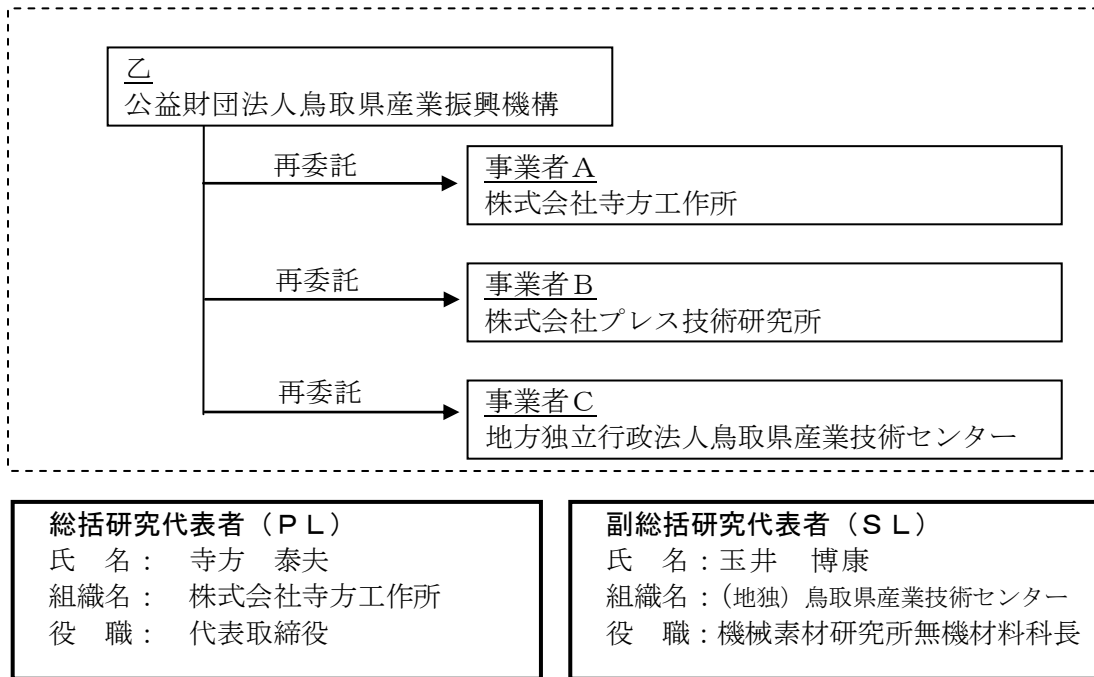
4) 委託期間

委託契約日から平成25年3月31日まで

1-2. 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

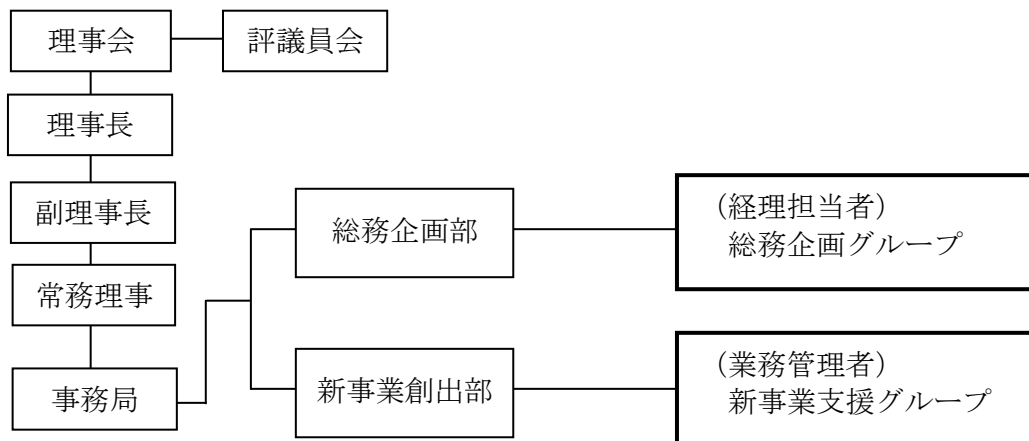
1) 研究組織（全体）



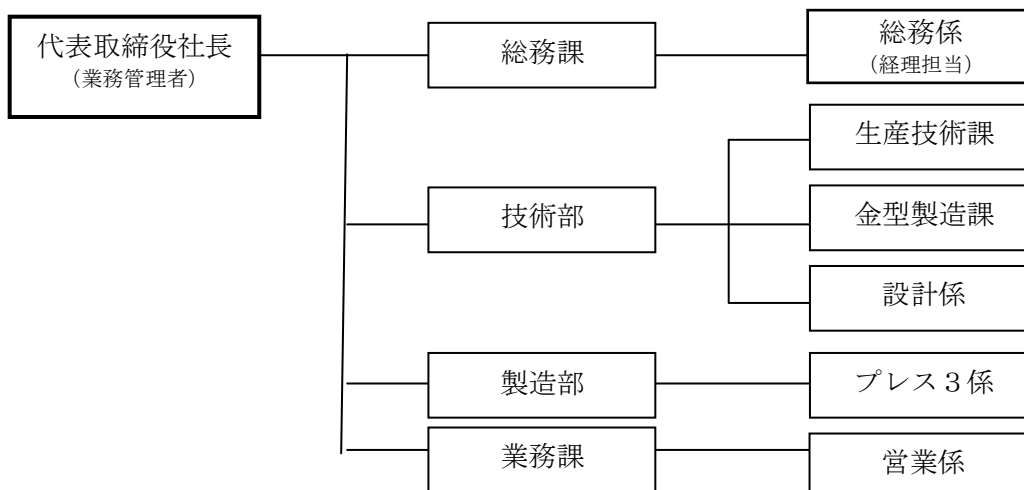
2) 管理体制

①事業管理者

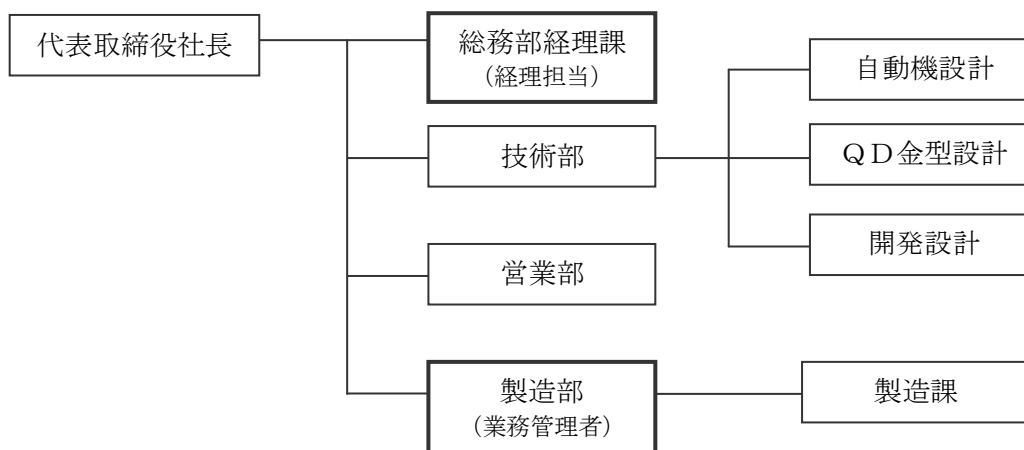
[公益財団法人鳥取県産業振興機構]



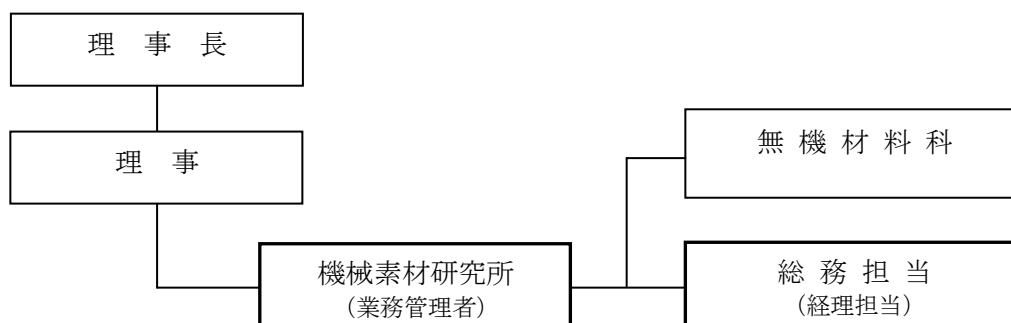
② (再委託先)
株式会社寺方工作所



株式会社プレス技術研究所



地方独立行政法人鳥取県産業技術センター



(2) 管理員及び研究員

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
高野 博司	新事業創出部長	④
岡島 加奈	新事業創出部新事業支援G副グループ長	④
田中 幸一朗	総務企画部総務企画G副グループ長	④
小坪 一之	新事業創出部新事業支援Gコーディネーター	④
前田 千恵	新事業創出部新事業支援グループ事務員	④

【再委託先】※研究員のみ

株式会社寺方工作所

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
山田 博昭	技術部金型製造課 課長	①-1,①-2,③
溝上 善久	技術部生産技術課生産技術係 係長	②-1,③
倉繁 良文	技術部金型製造課 課員	③
野田 峰行	技術部金型製造課 課員	③
種部 和彦	技術部金型製造課 課員	①-2,②-1,③
森本 友和	技術部金型製造課 課員	①-2,②-1,③
大西 正明	技術部金型製造課 課員	③
福井 隆彦	製造部プレス3係 係長	①-1-1,①-2,③
吉本 憲之	技術部設計係 係員	①-1,①-2,②-2,③
土井 順子	技術部設計係 係員	①-1,①-2,②-2,③
山下 秀和	技術部生産技術課生産技術係 係員	①-1,①-1-1,①-2,③
田中 佑樹	技術部生産技術課生産技術係 係員	①-1,①-1-1,①-2,③

株式会社プレス技術研究所

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
河原 正明	本社本部長	①-1-1,①-2
小松 基見	製造部製造課 課長	①-1-1,①-2
中野 正央	製造部製造課 主任	①-1-1,①-2
小泉 章	製造部製造課 主任	①-1-1,①-2
西山 富士森	製造部製造課 主任	①-1-1,①-2
山下 敬義	製造部製造課 課員	①-1-1,①-2

地方独立行政法人鳥取県産業技術センター

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
玉井 博康	機械素材研究所無機材料科 科長	③
今岡 睦明	機械素材研究所無機材料科 特任研究員	③

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

公益財団法人鳥取県産業振興機構

(経理担当者) 総務企画部総務企画グループ

田中 幸一郎

(業務管理者) 新事業創出部新事業支援グループ

小坪 一之

(再委託先)

株式会社寺方工作所

(経理担当者) 総務課 総務係長

石見 幸子

(業務管理者) 代表取締役社長

寺方 泰夫

株式会社プレス技術研究所

(経理担当者) 総務部 経理課

高橋 洋

(業務管理者) 製造部長

裏川 純一

地方独立行政法人鳥取県産業技術センター

(経理担当者) 機械素材研究所総務担当主事

遠藤 晴美

(業務管理者) 機械素材研究所長

門脇 互

(4) 他からの指導・協力者

氏名	所属・役職	備考
柳井 清司	株式会社オーハシテクニカ ・西日本調達室 室長	アドバイザー
岡本裕二	NTN株式会社・自動車技術部 部長	アドバイザー
大島 清次郎	アプト技研・代表	アドバイザー

(5) 知的財産権の帰属

知的財産権は全てコンソーシアム内の再委託先に帰属することを希望。

(6) その他

なし

1-3 成果概要

3年間に実施した事項を目的・関連サブテーマ毎にまとめたものが表 1-3-1 である。

表 1-3-1 研究開発成果

目標	従来技術	新技術	関連サブテーマ	課題	実施・検討内容（工夫したところ）	結果
材料歩留り 15%→ 60%	板材での順送加工	パイプ材を使ったトランスファ加工	[1-1]	製品 B 素材としての平面度、平行度、面粗さの確保	<ul style="list-style-type: none"> ・素材の熱処理条件の検討（焼鈍し条件） ・加工に最適な球状化焼鈍条件を明確にした。 <p>23年度に素材を潰す工程を新たに設け、平面度等々を高める技術を検討。潰し用金型材質として超硬が最適であることを確認し素材としてのパイプ材での材料歩留まり率60%確保した。24年度は超硬の加工精度向上を実施した。</p>	パイプ材で材料歩留まり率71%。
			[1-1-1]	製品 B 位置決め精度が悪い（大きな部品では位置決め精度がさらに悪化）	<p>23年度 大型部品に適用できる高精度位置決めが可能な送り装置（グリップ方式）を製品「A」の経験を生かして仕様を決定発注。</p> <p>24年度 製品B、一部工程で搬送テスト実施した。</p>	
材料歩留り 8%（順送）→ 20%（外形抜き・トランスファ）	順送加工（マッチングが必要）	トランスファ加工の採用（マッチング不可）	[1-1-1]	製品 A 一般的なトランスファ装置の位置決め精度1mm（精度不足）	22年度、金型構造の工夫 可動式のアテにしてガタを吸収できるようにした。 金型に形状をつけ自動求心で位置がきまるようにした。	歩留まり率20%
				製品 A 製品に位置決め用の穴を付けられない	22年度、製品を下に残しながら抜きカスを落とす金型の開発した ・ガタ0.01mmでも搬送可能となった。	
				製品 A 金型-製品間の潤滑油混入による搬送不良	22年度、油で製品と金型が密着するので吸着できるように金型から製品を浮かせるために横から剥ぎ取り機能を付加した。 ・安全性確保のための画像処理必要であった。	

材料歩留り 15%→ 50%	順送加工	フレーム接合方式順送加工	[1-2]	<ul style="list-style-type: none"> ・フレーム材厚を薄く(1.5mm以下)にできない ・フレームを繰り返し使用できない 	22年度、接合方法を改良計画ではフレーム材厚み0.6mmを厚0.4mmでも対応可能にした。	製品歩留まり率ほぼ100%となった
	単発加工	フレーム接合方式順送加工		ブランクの製作するため従来は順送もしくは、ブランク以降工程必要であった。	23年度、ブランクを外径抜き方式から送り切断方式でできるよう開発した。順送加工 55S PMで生産した。(順送加工に用できることを確認)。	
金型破損までの寿命 2倍金型製作時間 1/2	接触式計測	非接触計測採用による測定時間の短縮化	[2-1]	被検査物保持方法がない	22・23・24年度、被検査物用保持補助治具の開発をした。	従来は測定できなかった製品及び金型が評価できるようになり金型修正が可能になった
	①製品及び金型測定が測れない場所がある。	①5軸測定機の採用で従来は測定できなかったところが測定できる。		②部分的に測定したものを正確に合成する測定編集方法の開発。	23年度、測定機側では複数測定をしたものを合成する手法の開発をした。	
	②測定が部分的なため製品全体を把握するには合成する必要があったがうまく合成できない。				23・24年度、測定機からCADに測定データを送り編集する手法の開発をした。	
金型破損までの寿命 2倍金型製作時間 1/2	クラウン形状(達磨形状)の加工ができない(金型破損頻発)	クラウン加工の量産化(鍛造シミュレーションの利用による金型破損箇所の予測)	[2-2]	シミュレーション入力条件の情報不足	22年度、製品A シミュレーション利用により、クラウン形状用金型寿命が約2倍になった。 23年度 量産品 シミュレーション利用により形状変更により金型破損寿命約2.5倍になった。 24年度 シミュレーション結果による金型と製品の関係を表すねらい目図作成した	量産製品への応用で製品寿命2倍以上向上確認ができた

<p>・製品品質 (面粗さ) 確保のため プレス後加工 としてバレル 加工実施</p>	<p>硬質皮膜コー ティング利用 による製品品 質向上と金型 耐久性向上</p>	<p>[3-1]</p>	<p>製品A ウェット 条件でのトライ ボ特性データ 不足</p>	<p>23・24年度、 実機での結果 とシミュレーシ ョン結果のすり あわせを実施 した。 硬質コーティ ング導入によ り金型破損ま での寿命2倍 以上を確認し た。</p>
<p>微細歯形形状 の精密せん断 加工板厚3.2mm を5.5万ショ ット</p>	<p>板厚4mmを 11万ショット (従来比2倍 以上)</p>		<p>トライボ特性 から評価した 膜種と潤滑油 の組み合わせ 選定基準無し</p>	<p>22・23年度、 硬質膜と潤滑 油を組み合わ せた条件での 耐焼付性を各 種摩擦試験で 評価。・耐焼 付性の優れた 膜種と潤滑油 の組み合わせ を選定できた。 23年度、実機 テストで9万 ショット以上 を確認した</p>

1-4 当該研究開発の連絡窓口

事業管理機関

<p>法人名：公益財団法人鳥取県産業振興機構 代表者役職・氏名：代表理事理事長 金田 昭 住所：〒689-1112 鳥取県鳥取市若葉台南7丁目5番1号</p>
<p>連絡担当者名：小坪・岡島（新事業創出部） Tel:0857-52-6704 Fax:0857-52-6673 E-mail: kkotsubo@toriton.or.jp kokazima@toriton.or.jp</p>

第2章 本論

第1章の研究の目的でも述べたが、多くの企業が板鍛造に取り組みだしている。しかし板から鍛造品をつくるためにブランクの外側を踏んで材料の流れを止めて内圧を上げて成形することが多い。充填圧力を上げると閉塞状態に近づき金型が破損しやすい、順送金型はブランクとブランクの間が近いので十分な強度をもつ金型にできないために金型が破損しやすく金型部品加工費が増加する、また拘束をゆるめると形状不良になることが多い。素材の厚み、機械的性質の変化があると加工体積および材料の流動が変わるため金型調整時間がかかり金型保全費用が増加する。

板鍛造品は中央ほど圧力が高く端では低くなる傾向にあるため平らな製品であっても金型部品の縮み量に差があるため平らな金型では製品はわずかに中央部が厚くなる、製品を平らにするために金型は3次元形状をしており製品形状と金型形状を正しく測定し製品と金型の関係を明らかにし凹凸形状を加工する技術開発が重要である。

厚板加工では加工中に潤滑が不足して刃先の摩耗が大きく刃物の寿命が短い、機械加工からの工法転換であるため一般プレス加工品にはない横断面等に面粗さの要求がある、磨耗により刃物の面粗さが悪くなると製品の面粗さも悪くなるため刃物の交換頻度が上がる。そのため金型のトライボロジー特性から評価した表面処理膜類と潤滑油の組み合わせと給油方法の技術開発が必要である。

最近の見積もりではプレス加工品の要求厚みが厚くなっている、順送加工は生産性が高いが位置決めするためのパイロット穴およびブランク形状を繋ぐ紐が必要で材料有効率が10~20%と機械加工と比較して悪い。素材費が高騰している最近では4mm以上の厚みでは材料費率が高く要求価格とあわないことが多くなっているために材料歩留まりをよくする技術開発が必要である。

2-1 材料歩留まりの向上による低コスト技術の開発

素材の取り方をコイル材・板材から打ち抜いて取るだけでなく、より製品形状に近い棒材・パイプ材から切断して取った素材を鍛造ブランクとして使用できるように精度を上げ、生産性を上げるために連続加工のトランスファ加工又はフレーム接合して順送加工し、材料コスト低減を図る。製品「A」はシートに使用される部品で製品の端面が荷重をうけながら動く機能が要求されているためせん断面が凸形状であり面粗さがRa0.4以下の要求があり、順送特有のマッチングが不可の形状であるため板材を外形抜き後の2次加工をトランスファ加工で行うこととなった。製品「B」は減速機に使用される製品で滑らかな動きが必要なため熱処理後の形状精度が求められ、板材に比較して材料歩留まりが良いとともに材料の異方向性がないので熱処理歪が小さいという利点があるパイプ材を切断して素材としての使用を検討すべき製品である。

2-1-1 棒材・パイプ材を素材にして加工するための技術開発

22年度は、製品「B」をパイプ材で使用できるようにするための技術開発をおこなった。棒材・パイプ材は切断機等で切られるため切り取られた素材の厚みがバラつき、切り口が斜め等のため板厚の差があり、切断面は凹凸がある。そこで、精密鍛造の素材として使用できるように、厚みを潰すことによって平面度・平行度・面粗さが良くなるかの実証テストを行った。

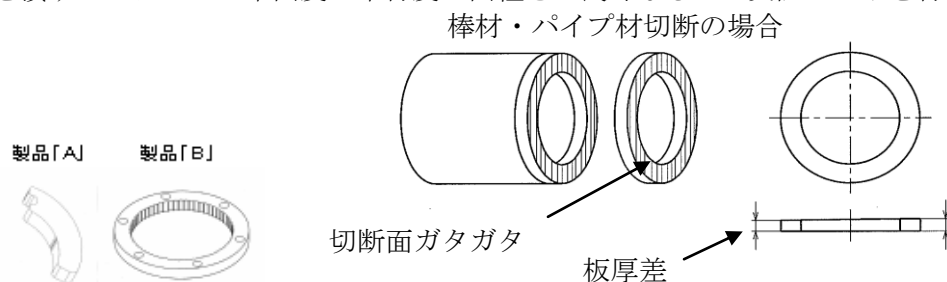


図2-1-1-1 製品「A」「B」パイプ素材

熱処理調質条件（焼鈍）を実施しない場合は切断時点での平行が0.1mm程度であったが、成形性が悪いため成形テストで製品側面に割れが発生した。

成形性をよくするため材料に焼鈍を実施したが、切断機の刃のきれが悪くなり切断時点での厚み差が0.5mm程度になり潰し後の平面平行が確保できなくなった。縦断面係数の高い超硬を使用した金型で1mm程度潰しをおこなえば面粗さRa0.3、平面度0.01mm、平行度0.02mm程度になることは確認できた。

通常の焼鈍工程だけでは成形面に割れ等の発生が抑制できなかつたために第二年度に実施する予定であった引き抜き材の熱処理調質条件の適切化技術の検討（球状化焼鈍）も始めた。

23年度は切断前の棒状で行っていた焼鈍工程において、まずは切断してからの球状化焼鈍に変更して22年度〔技術目標値〕平面度0.01mm、平行度、0.02mmを確保したうえで製品側面に割れ等が発生しない熱処理調質条件（球状化焼鈍）の適正化条件開発を行った。

切断方式を丸鋸に変更した結果、平面・平行度は向上し、厚みのバラツキが小さくなった。さらに潰しでは、22年度の潰し量1mmに対して潰し量0.3mmで達成出来、面粗さも潰し前平均0.86が潰し後0.16と向上した。

次の段階として、成形性重視だと打ち抜き性が悪くなり高いバリが出る。そこで、成形性と打抜き性を兼ね備えた組織が必要になってくるので、硬度や組織を確認することによって成形性と打抜き性を両立させた引き抜き材の熱処理調質条件の適性化技術の開発を行った。

潰し後に球状化焼鈍を行った結果、トリミング後のバリ高さは0.015mmで目標値の0.03mm以下を達成しているため、成形性と抜き性を両立した条件と言える。

また、23年度は製品「B」を完成品形状までもっていった。棒材・パイプを使用するために素材段階での平面・平行度を出すのが本研究の目的であるが、完成状態で平面度が悪くなる現象が発生したため、製品の凹凸を相殺させるよう成形金型の形状を変更した。

形状をつけたことにより平面は改善できたが、平面度0.079→0.041とまだ不十分。製品の平面形状と成形パンチ上面の形状が一致していたため、成形パンチを狙いどおりに仕上げることで更に平面度は改善されると考えた。

24年度は次のことを行った。製品「B」は素材の熱処理条件の検討で抜き性と成形性が両立し、潰し金型を追加して素材としては平面・平行・面粗さは当初の目標を達成しパイプ材の素材としての可能性は確認できたが、製品状態で平面・平行が目標値を下回っているため不十分と考え、製品成形の工程で平面を良くする超硬金型部品の平面形状研削技術の開発を行った。

(1) 22年度 潰しによる平面並行改善実施内容

1) 実験方法

厚み及び面粗さが潰し前後でどう変化したかを比較、面粗さはRaで評価、平面、平行度は最終的に3次元測定機で評価するが、製品の厚みの変化でも評価する。

使用素材 STKM13A

SCM415

2) 目標値

平面度0.01以下、平行度0.02以下、表面粗さRa1.6以下。

3) 実験結果

① 潰し実験を実施している過程でプレス機の平行精度が板厚差に影響がでたのでプレス機の平行がでるまではプレートを斜めに削って平行になるようにしたが目標値に達しなかつたのでプレスの平行を修理した。

② 金型の材質がハイスのときは素材の板厚差の改善率（（潰し後最大厚み-潰し前後最少厚み）÷（潰し前最大厚み-潰し前最少厚み））は18.2%であったが、材質を超硬に変えることによって板厚差の改善率は12.5%に改善された。改善の理由としては材料の縦弾性係数の違いで考えると、パンチの縮み計算よりのハイス時の縮み0.046と超硬の縮み0.019の差で超硬のほうが金型の変形が小さいので製品の板厚差が小さくなると思われる。

（計算）ブランクの内径がΦ58.6mm 外形がΦ82.6mmで厚みが7.5mmのため体積は19965mm³。厚みを7まで潰したときの面積が2852mm²。単位辺りに潰し荷重60kgf/mm²をかけると潰し荷重は171,120kgf。

（パンチの縮み計算）縦弾性係数 ハイス 23300 超硬 56000

パンチ長さ 60mm パンチ直径 100mm

縮み＝（潰し荷重 X パンチ長さ） / （潰し後の面積 X 縦弾性係数）

計算の結果

ハイス 0.046 超硬 0.019

③ 金型の材質をハイスから超硬にすることによって板厚差は改善されたが切断時の板厚差の影響は残っているので、潰し量を変える実験をおこなった。SCM415で結果潰し量を0.5から0.87に増やすことで厚み差は小さくなり平面度0.011以下平行度0.024

以下となっている。

材質 STKM13A
ブランク：つぶし前 面粗さ：Ra 0.95 (平均値)



図 2-1-1-2 切断

X 1 5 0

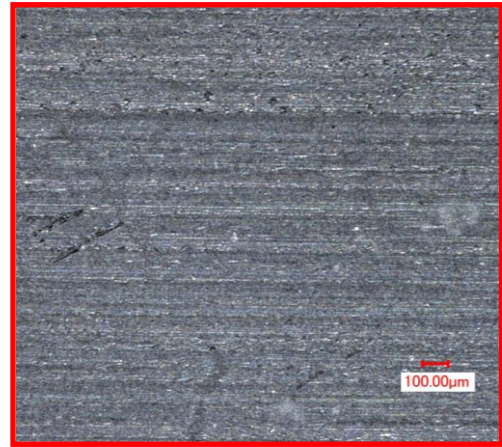


図 2-1-1-3 1 5 0 倍

つぶし後
面粗さ：Ra 0.1 (平均値)

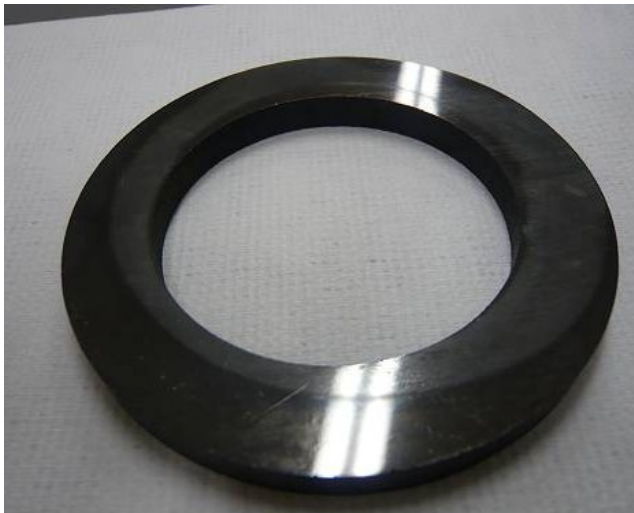


図 2-1-1-4 板厚 潰後

X 1 5 0



図 2-1-1-5 潰後 1 5 0 倍

潰すことで STKM13A も SCM415 も表裏と測定値に差はなく山部分が無くなり面粗さが良くなっている。写真より、つぶしによって表面の凹凸がつぶれ、丸みを帯びている事が分る。一見、つぶし後の方が面が粗いように見えるが、これは表面の凸部分の肉がつぶれ隣同士で密着している為である。これは表面粗さの凸がなくなっていることでもわかる。

(2) 23年度実験

1) 実験 1 素材の平面、平行度実験

22年度に実施したデータを見てみると潰しを実施することによって板厚差の改善率が12.5%になるという結果がでた、切断工程で厚み差が0.2以上あると目標値の0.02以下の達成が難しいので帯鋸から丸鋸に変更することによって目標値を達成できるか実験行った。

①切断方式を丸鋸に変更した結果

丸鋸に変更することによってブランクの平面、平行度は向上した、また切断時点の厚みのバラツキが小さくなることによって切断長さを短くできるようになり材料歩留りの改善をできた。切断時の平面度0.08 平行度0.131が潰すことによって平面度0.009 平行度0.014となり目標を達成できた。また潰し量1mmかかったのが0.3mm潰しで達成できた。

面粗さは潰し前平均 0.86 が潰し後 0.16 になった。初年度の潰し量 1 mm に対して潰し量は材料の有効利用率向上になる。面粗さは初年度と同様に凸部分が潰され平らになっているので数値以上に摺動性はよいと思われる。

2) 実験 2 成形性と抜き性の両立した熱処理調質条件 (球状化焼鈍)

製品『B』を作るための試作金型を作り、熱処理調質条件 (球状化焼鈍) が成形性と抜き性が両立しているかをトリミング工程のバリ高さを測定して確認した。

熱処理条件



図 2-1-1-6 焼鈍無

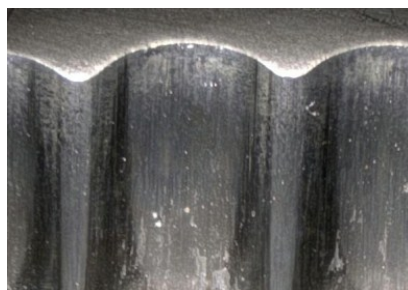


図 2-1-1-7 球状化焼鈍有

球状化焼鈍無し有りの写真を比較する焼鈍無し品は二次せん断が発生しているが球状化焼鈍品は破断の発生がみられない、球状化焼鈍を実施することにより製品の面は良化している。

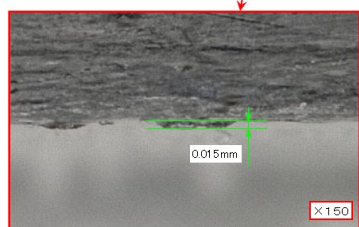
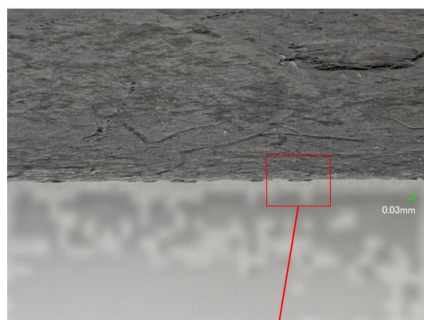


図 2-1-1-8 トリミング後のバリ

トリミング後のバリ高さは目標値の 0.03 以下の 0.015 になったのでこの熱処理は成形性と抜き性が両立しているといえる。

2-1-1-1 トランスファ化するための位置決め技術の開発

(1) 22年度実験

1) 開発形状と課題

精密鍛造品をトランスファ加工するための搬送における課題は次の2点である。

1. 製品を位置決めする方法
2. 外周に発生する抜きカスの処理する方法

また、精密鍛造は金属にとって過酷な条件で加工するため油を使用しなければならない、厚み方向を潰す加工の場合はリフターピン及びキックピンを設けると製品に跡がつく、跡が不可の場合はリフターピンやキックピンの使用ができない。油で上型に製品がついたり、型と製品の間油がはいり型から製品が分離できない場合にどう対策をたてるかが課題である。
3. 金型跡つけないリフトや払い出す方法
4. 搬送にじゃまにならない油供給方法
5. 油で製品と金型が密着しないように分離する方法

① 製品

製品「A」は電動パワーシートに使用される部品で、電動パワーシートは各社の最高級クラスの車に搭載されている。最高級クラス車ユーザの製品に対する要求度合いが高いため質感が求められる、それは作動時の動きの滑らかさ、静粛性とされている。順送用の繋ぎを設けることができないことが判明したため順送金型での加工でなくトランスファ加工することとなった。要求される形状、特に側面形状に大きなRをつけるためには製品の幅方向の精度を上げる必要があるため製品と金型の隙間が小さくなった。

単発の試作金型が製作し試作品を納入した。製品が所定の機能を満足していることが確認され、量産化へむけての開発がおこなわれた。トランスファ加工は従来から行われていて新しい方法ではない。板鍛造用トランスファ加工と一般プレスのトランスファ加工の違いは次表であらわしてある。

	特徴	加工	位置決め
精密板鍛造	板厚方向と幅方向の加工を同時に行う、幅方向の精度が高い	鍛造、穴あけ、トリミング、仕上げ鍛造と工程が複雑	幅方向の精度が高いため位置決めで削れて不良になるなど位置決めには工夫が必要
一般プレス	薄板、大きいわりに軽い	穴あけ、曲げ、絞り、トリミング	位置決めしている箇所と加工場所が違うために位置決めが容易

表 2-1-1-1 精密板鍛造と一般プレスの違い

板鍛造は幅方向の精度が高いため高精度の位置決めが必要になるが高精度の位置決め精度をもつトランスファ装置はない。一般で使われているトランスファ装置の搬送精度は1mm程度である。今回技術開発で使用したトランスファ装置は高精度搬送を念頭に改造および搬送モーションの工夫等を実施したが搬送精度は0.1~0.2程度であった。本製品は0.01~0.03程度の搬送精度が必要のため金型による位置決めを工夫を施すことでトランスファ装置の搬送精度をカバーすることができた。

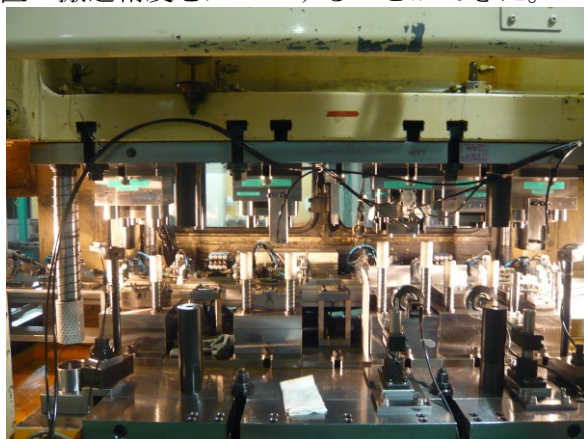


図 2-1-1-1 搬送試験状態

(2) 23年度実験

23年度は少し大きめで外形形状に精度が要求される製品「B」をトランスファ装置及びロボットによる搬送はしないが (a) 穴明け1、(b) 穴明け2、(c) 穴明け3、(d) 成形1 (e) 内径穴トリミング、(f) 外形トリミング、(g) 外形内径面打ち、(h) 仕上げ成形の自動搬送を前提とした位置決め技術の開発を行う。[技術目標値] 製品バラツキ 0.02mm 以下。

1) 実験

素材ブランク寸法がまだ決定していないため (a) 穴明け1、(b) 穴明け2、(c) 穴明け3の金型は製作せず内径及び外形は旋盤加工を実施した。

結果

表 2-1-1-1-2 寸法

外形			内径(オーバーピン径)	
測定機器	マイクロメータ		測定機器 : 三次元測定機	
	X	Y		
SPL-01	83.088	83.088	SPL-01	57.708
SPL-02	83.086	83.086	SPL-02	57.708
SPL-03	83.084	83.088	SPL-03	57.709
SPL-04	83.085	83.088	SPL-04	57.707
SPL-05	83.086	83.089	SPL-05	57.707
SPL-06	83.092	83.095	SPL-06	57.708
SPL-07	83.092	83.094	SPL-07	57.708
SPL-08	83.091	83.093	SPL-08	57.709
SPL-09	83.090	83.092	SPL-09	57.706
SPL-10	83.089	83.093	SPL-10	57.709
Max	83.092	83.095	Max	57.709
Min	83.084	83.086	Min	57.706
Average	83.088	83.091	Average	57.708
バラツキ	0.008	0.009	バラツキ	0.002

内径外形ともバラツキ 0.02 以下でできた。

(3) 24年度実験

1) 位置決め性向上

平成 24 年度は 22 年度の製品「A」の搬送試験の経験をふまえて新規設計したトランスファー装置を使って製作製品「B」をトランスファ搬送するための位置決め性向上の確認と、搬送性確認をするため一部の工程で製品クランプ治具を製作しトランスファ搬送試験を実施した。



図 2-1-1-1-2 金型全景



図 2-1-1-1-3 製品クランプ時

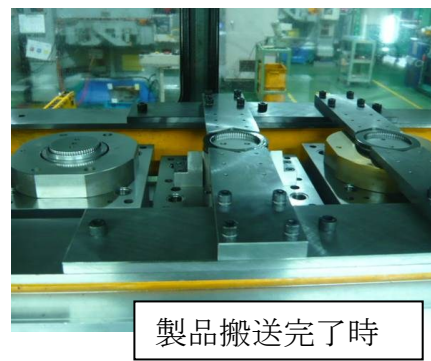
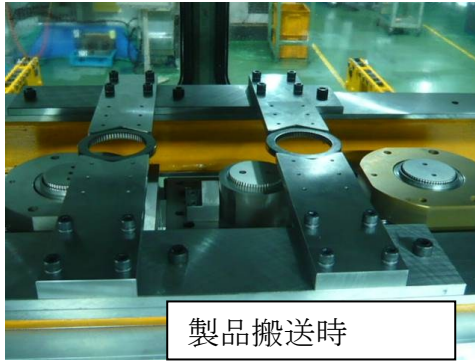


図 2-1-1-1-6 搬送試験

クランプ治具を使ってのトランスファ搬送はできた。これにより製品「B」の位置決め性向上の確認と、搬送性確認はできたので、精密鍛造品をトランスファ搬送する技術はほぼ完成したといえる。

(4) 研究成果

24年度で製品「B」のトランスファ搬送する技術がほぼ完成したことによって、サポインターマの『材料歩留りの向上による低コスト技術の開発』の目標値である「パイプ材を使用しての材料の有効利用率 60%以上を確保する」に対して、材料有効利用率 71%を達成することができた。

	トランスファ方式	順送
板材	外径抜き 幅 107X送りピッチ 96X厚み 7 体積 71904mm ³ 15365÷71904=21%	幅 130X送りピッチ 129X厚み 7 体積 117390mm ³ 15365÷117390=13%
パイプ材	切断+潰し 外径 φ84.8 (内径 φ57) X厚み 7 体積 21672mm ³ 15365÷21672=71%	

表 2-1-1-1-3 板材、パイプ材 工法毎の材料利用率比較

2-1-2 フレーム接合技術の開発

フレーム接合方式順送加工は弊社が考案した方法で、歩留りの良いトランスファ加工と生産性の高い順送加工の特徴をかねそそえた加工方法である。製品としては小物で高価な材料をより精密に加工する製品に向いている。素材の取り方もコイル材・板材から打抜いて取るだけではなく、棒材、パイプ材を成形加工して、それをトランスファ加工、又はフレーム接合して順送加工をするものである。この方法を取りいれると歩留まりは順送に比べて良くなる。特に高価な素材の場合はコスト低減効果はより高い。

22年度は従来のダボカシメではなく、厚み 5mmの素材と薄板フレームを接合する技術開発を行い、技術目標値であるフレーム板厚 0.6mmでの接合に成功した。しかしフレーム及びテストワーク加工にワイヤーカットを使用した基礎実験的なものであった。23年度はフレーム抜き金型・ブランク切断金型・カシメ兼孔明け用金型を製作し、フレームと製品を接合した状態でフープ状態にし、SPM50以上での連続稼働させることに成功した。24年度は順送方式ではなく単発工程でのフレーム接合方式の研究を行った。これは材料単価の高いものは製品生産数量が少ないため投資額に制約があるため単発加工でおこなわれることが多いためである。また、材料単価の高いものは少量生産のものが多く、素材製造が不安定なため板厚変動が大きくなることから板鍛造で厚みを潰して一定化するが、製品の外周アテの調整が煩雑のため、製品ではないところでアテができるフレーム接合法の応用開発を行った。

ブランク切断型・接合部つぶし兼接合部切り欠き金型・フレーム抜き兼フレーム接合金型を製作し、主要材料の材料歩留り有効利用率 50%以上を24年度の技術目標とした。

(1) 22年度実施

22年度はワイヤーブランクにて接合できることを確認した。

(2) 23年度実施

23年度はフレーム加工用の金型を製作しフープ状態にして確認テストを行った。[技術目標]フレームと製品を接合した状態のものがSPM50以上で稼動することを確認した。

1) 実験金型

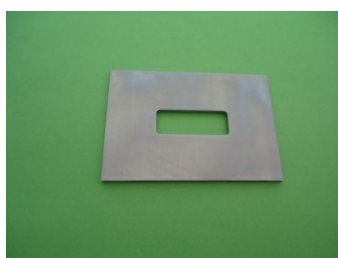
①フレーム抜き金型②ブランク切断金型③カシメ兼SPM50確認用孔明け金型の金型を製作した。

2) 結果

フレーム接合した製品に丸孔明け加工をSPM55回転で連続運転した。目標としたSPM50回転での連続性する目標は達成した。フレーム接合方式は思ったより加締強度があったので、フレームの素材厚みを当初計画の0.6mmから0.4mmの使用に変更と加工材の取り方を送り切断方式にできる加締部の作成の工夫により材料有効率の向上が可能であることが確認できた。素材としてのパイプ材の利用および材料単価の高い材料のフレーム接合順送は材料歩留まりに有効な手段であり低コスト化への有力な技術であることが確認できた。

(3) 24年度実施

フレーム接合方式は順送よりも板厚のバラツキが大きいため外周アテが困難な単発製品にむいているようなのでその方向の開発を行った。23年度に製作したフレーム抜き型でフープ状にした材料フレーム抜き型で抜き・接合部の切り欠き・パイロット孔の抜きなおしを行った。



素材	
材質: KV6 (コバルル)	
Ni	29%
Co	17%
Fe	53.5%

図 2-1-2-1 ブランクと素材

結果

この製品は、板厚 3.2mm、材料幅 87mm、長さ 540mmの定尺材から加工する。この定尺材から9個の製品が取れる。比重を 8.24、製品の重量を 79gで計算する。フレーム接合法を採用した場合、 $3.3 \times 87 \times 60 \times 8.24 \div 1000 = 141.9$ gで歩留まりは $79 \div 141.9 = 55.7\%$ となり、材料歩留り有効利用率 50%以上の目標を達成した。

2-2 金型寿命と品質向上による低コスト技術の開発

板鍛造の工程設計に於いては過去の経験のみで設計しており、量産時の金型破損が多発している。破損を防止するために鍛造シミュレーションの活用が考えられるが従来の鍛造シミュレーションは丸棒を素材とする軸鍛造用として開発されており板鍛造に適応した3次元成形シミュレーションの利用技術の開発が必要である。また3次元形状は金型の加工に於いてはマシニングセンター又は放電加工にて加工されているが現在の測定技術では金型の製作時に正確に測定できず、加工して製品にして初めて判定できる状態である。金型の加工の何が悪いかわからないまま数多く作って使えるものを使うか、悪いと思われる箇所を削るか、公差に入るように前工程との関係を調整するようにしている。その為に金型部品交換時の生産効率が悪くなる又スペアパーツも大量に作られコストが低減できていない。微細形状測定技術を開発し、それをフィードバックして金型部品の修正できる技術を開発する。

2-2-1 金型の品質向上を目指した5軸非接触測定機の利用技術の確立

(1) 22年度実施

従来のプローブをあてる3次元測定機、針でなぞる輪郭形状測定機では測定子が入らない。精密板鍛造の分野では高精度のプレス部品を製作しているため、NC加工機から製作中の金型部品を取り外して測定した後、NC加工機で再加工する場合、再セットした部品を元の位置へ精度良く戻せないという2つの課題があった。壁に近い位置は測定することができず測定できる位置で代理測定しているため本当の形状は測れていない。微細形状は金型の状態で測定できず、2次元の光学式はどこが見えて測定できているのか不明で、検査には使えても微細な形状を測る測定機としては、精密板鍛造には使えない製品のみ代理測定に甘んじていた。金型と製品との関係が正確に分からず、金型の形状寸法をどう

すれば良いかも分からない状態にあり、製品加工時に製品の代理測定値を見て推測で金型の修正及び調整をしているので、再製作及び調整時間が長い。そのためメンテナンスコストが高くなっていて低コスト化の課題となっている。金型の形状寸法を正確に測定できる必要がある、その為に新たにレーザー光にて非接触で、従来の接触式及び光学式測定機では測定できなかった測定が高精度で測定できる5軸非接触輪郭測定機を導入し、5軸非接触輪郭測定機の利用技術を開発する。金型と製品との関係を明らかにすることで、従来は推測で金型部品を修正及び調整していたが、金型製作へフィードバックする技術を開発する。次に、工作機械の精度の高いチャッキング装置は別の加工機でも使用できる融通性があるが、測定機では単に測定することしか想定されていないので加工機のチャッキング治具を使用できる思想がない。よって、加工機のツーリング治具を測定機でも装備できる仕組みを開発する。

1) 5軸非接触輪郭形状測定機の仕様

各種のツーリング治具も使えるような仕様へ変更、弊社で現在使われているツーリング治具はエアロであるが各社それぞれ特徴があるので今回は各種のツーリング治具が仕様できるような仕様とした。標準機との相違は各種治具が使えるようにレンズ位置を高くしてもらった。また本測定器は製品を測るのが本来の目的のため治具の荷重の分だけで荷重が増えるので装置が荷重に耐えるかの確認を実施。

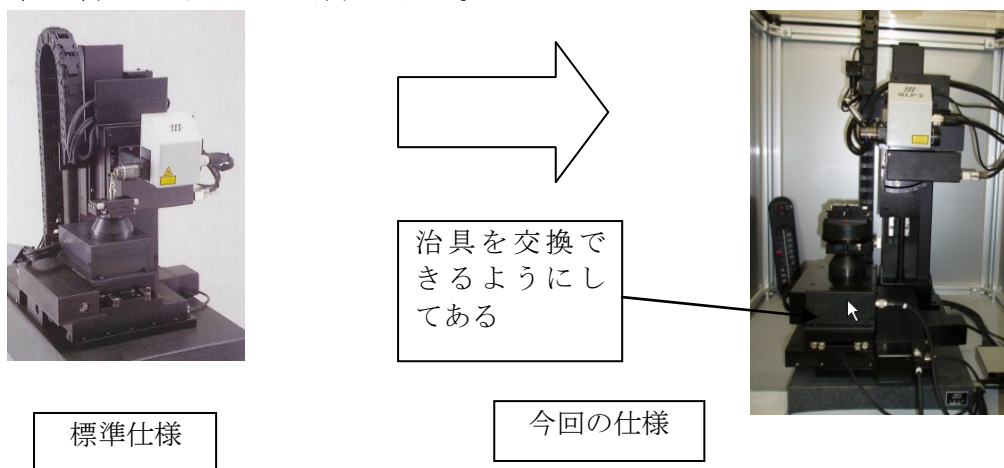


図 2-2-1-1 標準仕様と今回の仕様

(2) 23年度実施

1) 5軸非接触輪郭形状測定機の専用補助治具の製作

まず、5軸非接触輪郭形状測定機は金型部品やプレス製品を測定する際には大きな2つの課題があった。1つ目は保持（クランプ）する機構に自在性がないことで、2つ目は被検査物にて開始座標系を設定するプログラム上のシステムがないことであった。

1つ目の課題としては、標準で装備されているクランプ・ユニットは5軸非接触輪郭形状測定機の回転 Θ （シータ）軸の回転中心を求める際にガラス基準球を固定するバイスのみである。ガラス基準球は、直径8ミリの棒の端面に固定されており、クランプ・ユニットは直径8ミリの棒を固定できる仕様となっている。2つ目の課題としては、一般の計測専門の測定機では被検査物の位置や姿勢を入力して開始座標系を作成し、登録している測定プログラムを呼び出してレポート測定が簡単にできる。つまり、測定用のプログラムを作成した時と全く同じ位置及び姿勢で被検査物をセットしなくても測定ができる仕組みとなっているため、複数個のサンプルを連続して測定することもできる。しかし、5軸非接触輪郭形状測定機は作成した測定プログラムを登録してレポート測定もできるが、開始座標系を設定できないため、測定用のプログラムを作成した時と全く同じ位置、全く同じ姿勢で被検査物をセットしなければならないという条件付きであった。

図 2-2-1-2 は、光学式自動測定機の複数ワークを測定できるソフトを紹介したものです。このソフトでは、非定ピッチで並べられたサンプルや異種品混在でも一回の操作で測定ができると説明されている。

軸名	X軸	Y軸	Z軸	AF(R)軸	AZ(θ)軸
可動範囲	120mm	90mm	130mm	40mm	360°
分解能	0.1μm	0.1μm	0.1μm	0.01μm	0.001°
測長器	スケール	スケール	パルス	スケール	パルス
測定精度	(2+20L/1000)μm	(2+20L/1000)μm	(4+100L/1000)μm	(2+20L/1000)μm	±0.03/360°

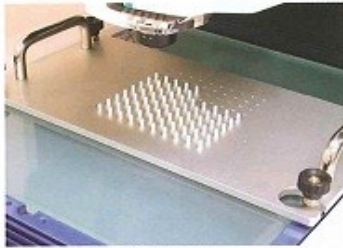
自動測定管理ソフト

QV Part Manager QVパーツマネージャ

QVパーツマネージャは測定ステージ上に並べられた複数ワークの実行プログラム管理ソフトです。

特長

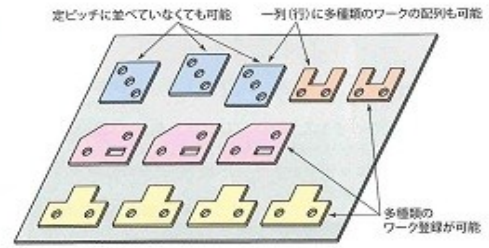
- ・複数種類の測定物の登録が可能です。
- ・各測定物事の合否判定結果や測定状態のマップ表示が可能です。
- ・公差外れ時や測定エラー時のリトライ機能やエラーパス機能があります。
- ・パレット毎の情報をファイル管理、アイコン登録ができ簡単操作で実行可能です。



専用治具上に並べられた測定物



QVパーツマネージャ画面



定ピッチに並べていなくても可能 一列(行)に多種類のワークの登録も可能

多種類のワーク登録が可能

図 2-2-1-2 自動測定管理ソフト

5軸非接触輪郭形状測定機では、これら2つの課題をクリアする専用の補助治具を考案する必要があり、ブロック状の金型部品や異形立体形状を成しているプレス製品を自在に保持(クランプ)できる被検査物ごとに専用の補助治具を製作しなければ5軸非接触輪郭形状測定機の利用技術の確立には至らないのである。22年度に導入した5軸非接触輪郭形状測定機には、回転軸上のクランプ・ユニットを交換できる仕組みが特注にて装備してあるので、その仕組みを利用して、必要な測定ができる専用治具を考案し、製作した。



写真 1
立上げの操作が完了した状態クランプ・ユニットにはガラス基準球が取り付けられた状態



写真 2
金型パーツの測定位置を自在に調整する角度調整機能付きのVブロックは市販品を購入した

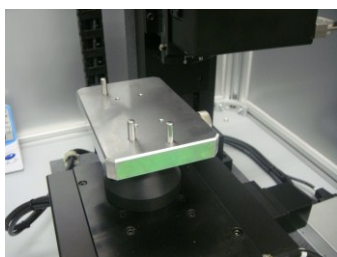


写真 3
まず、ベース部を回転θ(シータ)軸に固定した状態

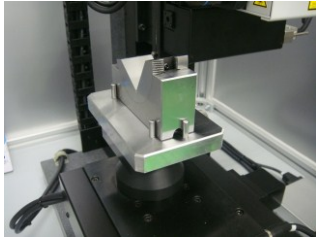


写真 4

ベース部にVブロックを載せてセットした状態

2) 5軸非接触輪郭形状測定機の測定可否の検証

a) 測定子（針）が入らない場所の測定ができるかの検証

測定子（針）が壁に干渉して測定ができない場所の測定ができるかの検証に関しては製品「A」の金型部品を対象に、製作した専用の補助治具を用いて検証した。

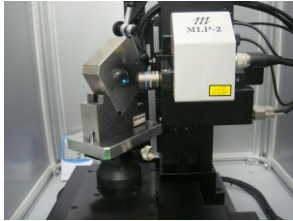


写真 5

専用補助治具に製品「A」の金型部品をセットした状態

検証した結果、接触式測定機の測定子（針）が入らない場所でも、5軸非接触輪郭形状測定機のレーザプローブが干渉しなければ測定できることが証明された。

b) 二回に分けて測定していた事案が一回で測定できるかの検証

接触式測定機では測定子（針）と対象部位の形状の関係より、一回では測定できない事案がありますが、一回で測定ができるかの検証に関しては、プレス量産金型の部品を対象に検証した。



写真 6

検証の対象とした量産金型の部品です。部品名は「成形ダイス」。

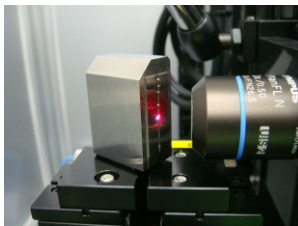
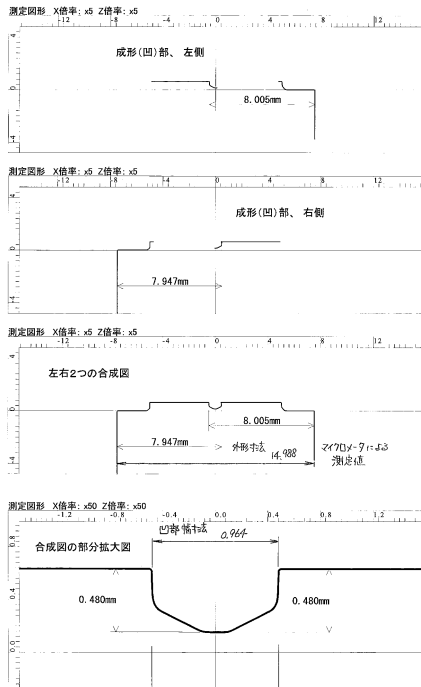
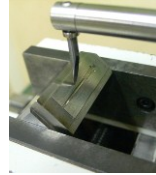


写真 7

対象の金型部品を測定中の写真です



まず、成形(凹)部の左側を測定



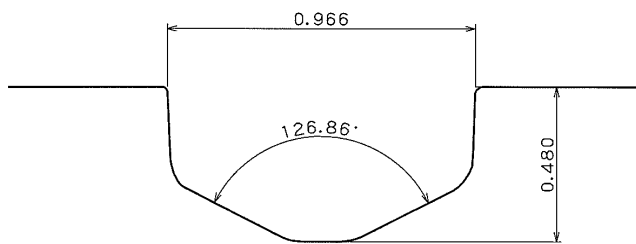
次に、同様に成形(凹)部の右側を測定

この図は左右2つの測定結果を合成した状態の形状図

成形凹部の幅寸法の0.984は、左側と右側の測定結果を加算し、マイクロメータで測定した外形寸法を引き算して求めた

接触式測定機では基準になる寸法が不明であれば「形」はわかっても「寸法」は求められないという欠点あり

図-2-2-1-3 接触式測定機による測定結果を示す形状図



5軸非接触輪郭形状測定機による測定結果の形状図

成形(凹)部の幅寸法も角度寸法も一回の測定で求めることが可能

図 2-2-1-4 5軸非接触輪郭形状測定機による測定結果の形状図

検証した結果、接触式測定機では二回に分けて測定していた事案でも、5軸非接触輪郭形状測定機であれば一回で測定できることが証明された。

3) 5軸非接触輪郭形状測定機を用いた研究成果

a) 研究を開始するに当たっての準備について

従来の接触式測定機を用いた場合には課題が2つあったが、5軸非接触輪郭形状測定機で測定できるかどうかを検証した結果、測定できることが上述の2)にて証明された。その検証作業の過程で、さらにアイデアを進化させて、製品の左側と右側の2つの測定結果を合成するだけではなく、断面形状を一周測定することに着目した。これまでの製品は、表側の左右の形状、または裏側の左右の形状を議論するだけで満足していたが、製品「A」の場合は表裏を合わせて4つの測定結果を合成する必要があった。そこで、断面形状を一周測定できる専用補助治具を追加で考案し、製作しました。この治具を使用して検証したところ、断面形状を一周測定することができるようになった。その結果、2つの測定結果を合成するより高精度で製品を測定することができた。

b) 研究成果のねらい目寸法図

本装置の基本的な測定の仕方を以下に説明する。

5軸非接触輪郭形状測定機の5軸とはX軸、Y軸及び Θ （シータ）軸で構成されたステージと、上下昇降するZ軸と、レンズのピント合わせとしてのAF軸を5軸と称している。一般の光学式の測定機ではXYステージは回転しないが、5軸非接触輪郭形状測定機ではXYステージ上に回転軸があり、これを Θ （シータ）軸と呼んでいる。基本的な測定のパターンは、被検査物を回転軸の中心に固定し、レンズを水平にした状態で、向かって右方向から被検査物を測定する。本装置はレーザープローブ方式が採用された非接触の測定機で、その仕組みは図2-2-1-6に示してある。使用できるレンズは50倍と100倍の2種類があり、50倍の焦点距離は10mmで、100倍は3.4mm。具体的な測定の仕方はレンズのZ軸は固定し、精度の良いY軸のステージを移動させて測定する。

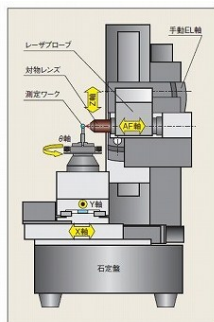


図 2-2-1-5
側面図

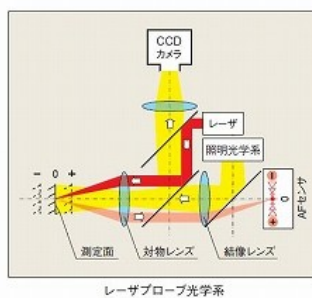


図 2-2-1-6
レーザープローブ方式

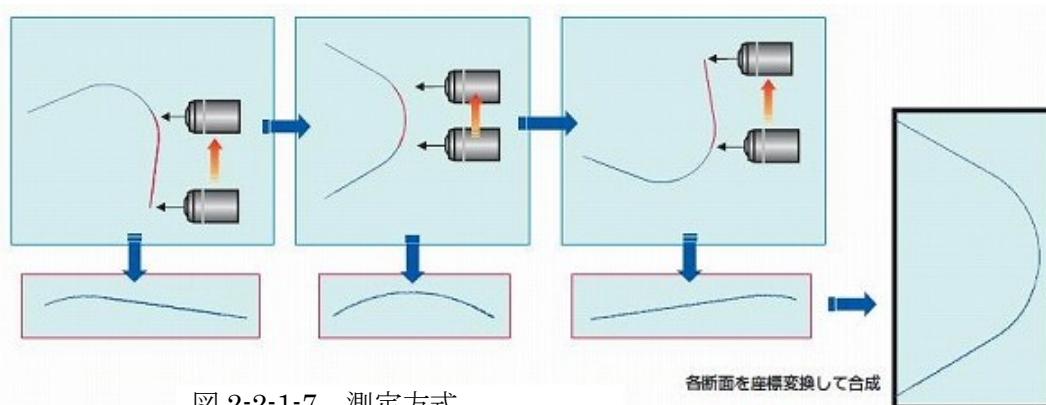


図 2-2-1-7 測定方式

これより、製品「A」の測定の仕方の概略を以下に説明する。

前段として、製品「A」を測定するために、本装置の仕様や特徴を把握した上で専用の保持治具を設計し製作した。今回はレンズと製品を固定した治具の干渉を予防するため、焦点距離 10mm の 50 倍のレンズを採用した。針を使用する接触式測定機の場合 4 回の測定が必要です。まず、測定結果を輪郭評価ソフトにて傾き補正し、4 つのデータを合成できるように準備が必要です。さらに、左右と表裏を合成するために、事前にマイクロメータにて厚みを測定し、幅寸法は三次元座標測定機で測定データを確保しておく必要があり、その 2 つのデータを参考にして左右と表裏を合成するためのロケーション作業を実施する。接触式測定機での 4 つのデータを CAD データに変換し、CAD で 4 つのデータを合体させて合成図を完成させる。

所要時間は、接触式測定機での 4 回の測定時間と、4 つの測定データを輪郭評価して傾き補正する時間と、2 つの実測データを参考にして合成するためのロケーション作業の時間と、完成した輪郭評価データを CAD データに変換する時間と、CAD にて 4 つのデータを合体させる時間の総合計は 3 時間 (180 分) だった。それに対して、5 軸非接触輪郭形状測定機の場合、測定プログラムと専用保持治具があれば、測定時間と CAD にデータを移す時間と CAD 作図操作の時間の総合計は 45 分だった。

これまでの製品では、従来の接触式測定機を用いて、表側の左右の形状、または裏側の左右の形状の「形」のみが製品を製造する上での関心事であった。つまり、寸法よりも「形」に重きを置いて製品の開発をしてきた。しかし、要求されるレベルが上がると「形」にも高精度が求められるようになり、過去の製品開発の手法が通じなくなってきた。当初、左右の 2 つの測定結果を高精度に合成することを目標として取り組んできたが、新規引き合い対象品の難易度が高くなったこともあって、表裏左右の 4 つを合成することに目標値が変わりました。そのため、技術目標値の『金型と製品との関係を示した「ねらい目寸法図」を完成させる』は、5 軸非接触輪郭形状測定機を用いて製品断面の表裏左右の 4 つの合成図を一回で測定ができるようにすることが最初の目標値で、最終的に 5 軸非接触輪郭形状測定機を用いて『金型と製品との関係を示した「ねらい目寸法図」を完成させる』です。取り組みの結果、5 軸非接触輪郭形状測定機を用いた研究の成果として、一回の測定で断面形状を測定して、金型と製品との関係を示した「ねらい目寸法図」を作成することができた。

(3) 24 年度

24 年度は 5 軸非接触輪郭形状測定機を活用した下記の 3 つのテーマについて取り組んだ。

- ア. 3次元形状としてCADで認識させる手法の開発。
 - イ. 金型部品の刃先の微小摩耗を監視する仕組みの開発。
 - ウ. 量産金型の金型部品と製品の間隔を明らかにする。
- 1) 5軸非接触輪郭形状測定機での測定データの3次元CAD化
- a) 測定データ、3次元CAD化の実現方法について

従来の接触式測定機には、2次元の測定データ（X座標値とZ座標値）を2次元CADで読み込めるDXF形式に変換する機能（ソフト）が標準設定となっていたが、5軸非接触輪郭形状測定機には測定データを3次元CADで読み込める形式に変換するソフトが、オプション設定にもなかった。

5軸非接触輪郭形状測定機の測定データは3次元の座標値で構成されているので、3次元CAD化するに当たり安易に早合点したが、まず、測定データをCADで認識させる手段を確保するところから開始しなければならなかった。

この第一の難関は、過去の経験を足がかりとして取り組んだ。その方法とは、CADから接触式の三次元座標測定機へ図形データを設計値として提供するときに行うパソコン（エクセル）操作であり、その点群データ化処理に着目した。3次元CADの機能を確認してみると、点群データを扱えることが判明した。まず、5軸非接触輪郭形状測定機の測定データをCSV形式に変換して保存する。そのCSV形式のデータをエクセルで開き、3次元座標値の点群データとなるように編集し、CADで読み込める「タブ区切り」のTXT形式で保存する。一般には、3次元CADに点群データを読み込んで面張り作業を行うが、処理が手作業で時間がかかることから、23年度に導入した「3次元形状データ処理システム（Leios）」を活用することにした。

TXT形式の点群データを3次元形状データ処理システム（Leios）にて読み込んで、ポリゴンデータ処理（面張り）して面データに変換する。以上の操作や処理を経て、5軸非接触輪郭形状測定機での測定データを3次元CADで3次元形状図形として認識させることができた。操作と作業の概略は「図2-2-1-1」のフロー図に示す。

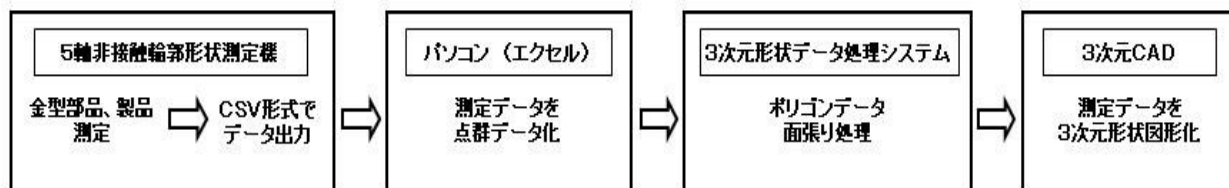


図2-2-1-11 測定データ、3次元CAD化のフロー図

- b) 測定データ、点群データ処理方法の紹介

「CSV形式」の測定データをパソコンのエクセルを使用して点群データ化するやり方の紹介事例は、長さ0.75mmと幅0.50mmの四角平面を10μmピッチで実験的に測定したもので、「図2-2-1-2」は、5軸非接触輪郭形状測定機の測定結果を3D表示する。

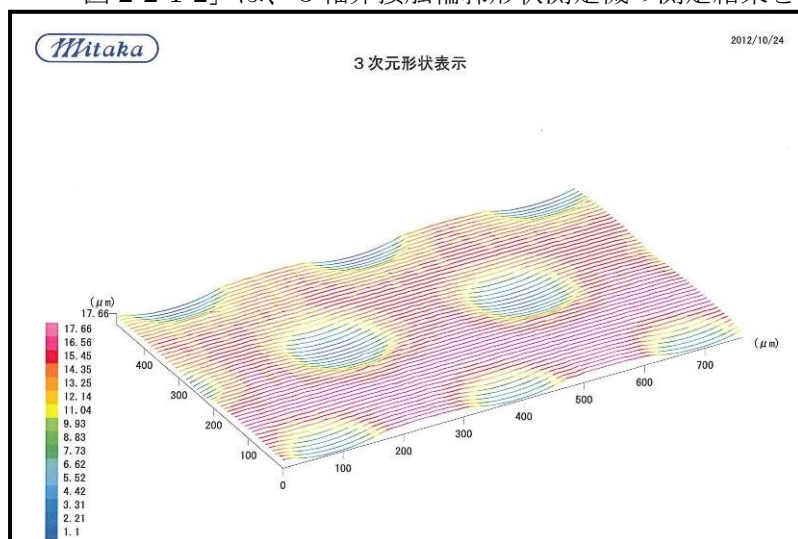


図2-2-1-12 測定データ、3D表示

そして、「図2-2-1-3」は5軸非接触輪郭形状測定機で測定した測定データを「CSV形式」

で出力したテキストファイルで、測定点は 3773 点ありますがページの都合で一部のみ表示。現在の 3 次元 CAD のパソコンの処理能力では、これくらいの測定点容量が限界であった。

NH3_003xy		25	77	49
ファイル名	C:\MPLP-2\Data\0.技術部\平面測定-spl-1-I776.CSV			
測定データ種	三次元詳細データ			
Version	1			
データ名	3			
対物レンズ	φ100X			
レーザーオフセット				
Z軸倍率	1			
オートフォーカス	8			
オートフォーカスSelect				
ピッチ-振り分	NO			
ステージ速度	Low			
Unit	100	100	100	1000
測定ピッチ X:		0.01	Y:	0.01
Xステージピ X:		0.01	Y:	0
上下限リミット	0	0		
測定開始位置 X:		-68.381	Y:	23.6908
測定終了位置 X:		-67.6205	Y:	24.1708
測定範囲 X:		0.7605	Y:	0.48
測定点数 X:		77	Y:	49
全データ数	3773			
測定開始歪度				
測定終了歪度				
		X	Y	Z
1	1	-68.3808	23.6908	78.25763
2	1	-68.3702	23.6908	78.2566
3	1	-68.3604	23.6908	78.25396
4	1	-68.3502	23.6908	78.25145
5	1	-68.3406	23.6908	78.24959
6	1	-68.33	23.6908	78.24789
7	1	-68.3202	23.6908	78.24674
8	1	-68.3103	23.6908	78.24621
9	1	-68.3003	23.6908	78.24571
10	1	-68.2901	23.6908	78.24594
11	1	-68.2803	23.6908	78.24616

-0.38048	-0.24000	0.00171
-0.36988	-0.24000	0.00068
-0.36008	-0.24000	-0.00196
-0.34988	-0.24000	-0.00447
-0.34028	-0.24000	-0.00633
-0.32968	-0.24000	-0.00803
-0.31988	-0.24000	-0.00918
-0.30998	-0.24000	-0.00971
-0.29998	-0.24000	-0.01021
-0.28978	-0.24000	-0.00998
-0.27998	-0.24000	-0.00976
-0.26988	-0.24000	-0.00931
-0.26008	-0.24000	-0.00835
-0.24958	-0.24000	-0.00673
-0.23978	-0.24000	-0.00519
-0.22978	-0.24000	-0.00296
-0.22018	-0.24000	-0.00052
-0.20958	-0.24000	0.00199
-0.19978	-0.24000	0.00275
-0.18968	-0.24000	0.00254
-0.18008	-0.24000	0.00331
-0.16968	-0.24000	0.00370
-0.15978	-0.24000	0.00414
-0.14968	-0.24000	0.00387
-0.13998	-0.24000	0.00413
-0.12958	-0.24000	0.00305
-0.11978	-0.24000	0.00369
-0.10978	-0.24000	0.00314
-0.09988	-0.24000	0.00324
-0.08958	-0.24000	0.00229
-0.07998	-0.24000	0.00238
-0.06988	-0.24000	0.00106
-0.06008	-0.24000	-0.00157
-0.04958	-0.24000	-0.00397
-0.03988	-0.24000	-0.00591
-0.02978	-0.24000	-0.00758
-0.02018	-0.24000	-0.00839
-0.00968	-0.24000	-0.00934

図 2-2-1-13 CSV形式の出力データ

図 2-2-1-14 編集後の状態

次に、この「CSV形式」のテキストファイルをパソコンのエクセルを使用して点群データ化する方法を紹介します。まず、3次元の座標値以外は全て削除する。エクセル上で、A列に「X軸座標値」を、B列に「Y軸座標値」を、C列に「Z軸座標値」を配置させ、3列の数値が接近したり重なったりしないように列の幅を広くする。そして、セルの設定を「左寄せ」とし、小数点以下5桁に揃える。「図 2-2-1-14」は、そのように編集したもので、ページの都合で一部のみ表示した。最後に、「テキスト (タブ区切り)」という形式で保存すると「点群データ化」は完了する。

c) 3次元形状図形として3次元CADで認識させる

検証用として実験的に測定した平面の測定データを点群データ化した後、「3次元形状データ処理システム (Leios)」にて読み込んで、ポリゴンデータ処理 (面張り) して面データに変換し、3次元CADに取り込んだ3次元形状図形を「図 2-2-1-15」に示す。

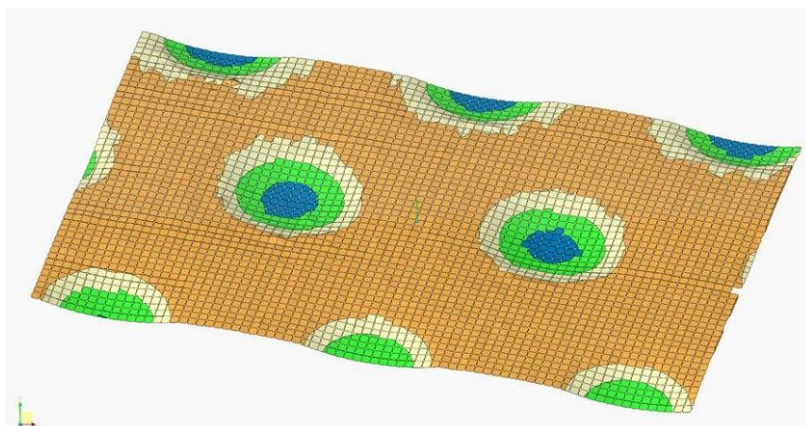


図 2-2-1-15
3次元 CAD にとり
こんだ形状

但し、点群数が多くなると3次元形状データ処理システム (Leios) では処理できても、3次元CADの処理能力が不足し、作図作業の操作性 (レスポンス) が悪くなることが判明した。現時点では、金型部品を高精度で測定した点群データは扱えないという課題が残った。

2) 測定事例

次に紹介する測定事例は、研究テーマ③「モジュール1 歯車形状」の金型部品で、しごきパンチの57,000ショット後の微小摩耗を測定した。



写真 7

向かって左側はしごきパンチ (a) で、TiCN コーティング処理品。

右側はしごきパンチ (b) で、VC コーティング処理品。

まず、TiCN皮膜をコーティングした「しごきパンチ-a」を紹介する。

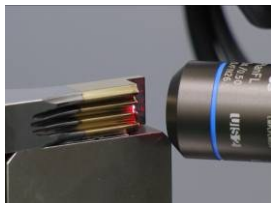


写真 8

TiCN皮膜をコーティングした「しごきパンチ-a」の微小摩耗を測定中。

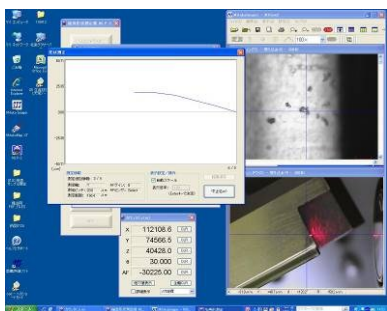


写真 9

5軸非接触輪郭形状測定機で測定中のPC画面。

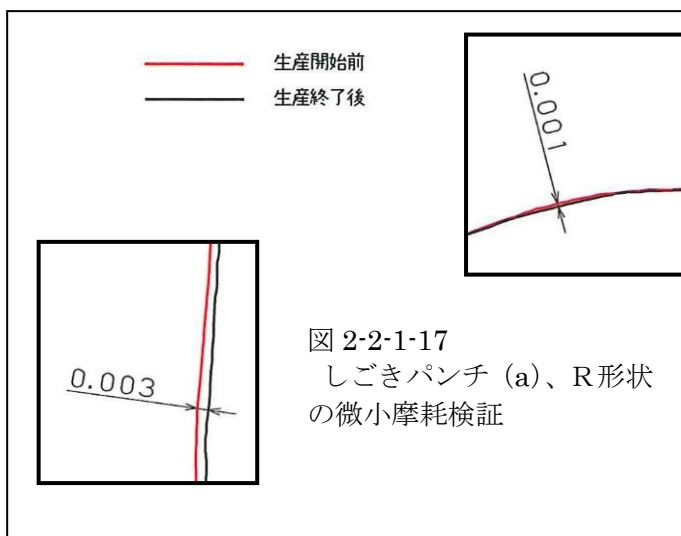


写真 10

「しごきパンチ-a」の生産終了後の刃先状態。

TiCN皮膜をコーティングした「しごきパンチ-a」の57,000ショット後の微小摩耗を測定した結果、刃先Rの終わりからストレートにかかる辺りの摩耗が最大で、摩耗量は $3\mu\text{m}$ でした。

摩耗量が最大の辺りはコーティング皮膜が剥がれていました。(「写真 10」、参照)

続いてVC皮膜をコーティングした「しごきパンチ-b」を紹介する。

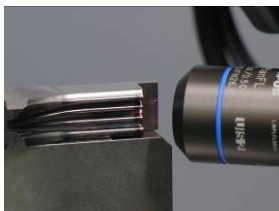


写真 11

VC皮膜をコーティングした「しごきパンチ-b」の微小摩耗を測定中。

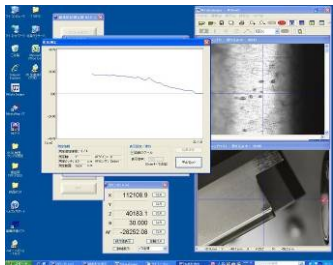


写真 12

5軸非接触輪郭形状測定機で測定中のPC画面。

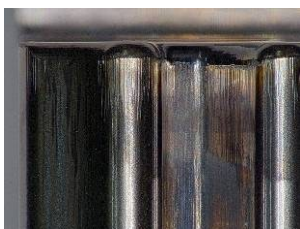
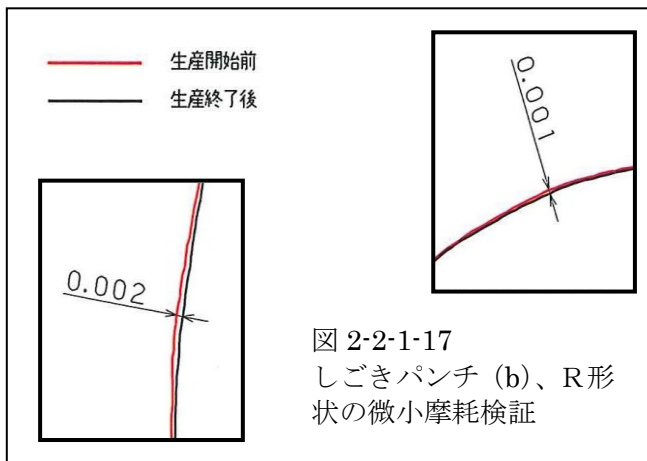


写真 13

「しごきパンチ-b」の生産終了後の刃先状態。

VC皮膜をコーティングした「しごきパンチ-b」の57,000ショット後の微小摩耗を測定した結果、刃先Rの終わりからストレートにかかる辺りの摩耗が最大で、摩耗量は $2\mu\text{m}$ でした。写真を見る限り、コーティング皮膜が母材と同系色なので剥がれているか判別が難しい。（「写真 13」、参照）

4) 5軸非接触輪郭形状測定機を用いた研究成果

第三年度の5軸非接触輪郭形状測定機を活用した研究のテーマは3点で、成果は下記の通りであった。

ア. 3次元形状としてCADで認識させる手法の開発。

検証用として実験的に測定した平面の測定データを点群データ化し、「3次元形状データ処理システム (Leios)」にて読み込んで、ポリゴンデータ処理 (面張り) して面データに変換することで3次元形状図形化できた。

イ. 金型部品の刃先の微小摩耗を監視する仕組みの開発。

微小摩耗を監視する仕組みは、以下の2つで構成されている。

* 被検査物を測定できるように保持 (クランプ) 補助治具を製作する。

* 測定した測定データをCAD形状図形化する。

繰り返し同じ設定、姿勢で測定ができるように自在に補助治具を製作したり、改造したりできて、CAD上で同じ基準で比較検証ができるように合成図が作図できるという条件が揃えば、プレス生産前後の金型部品の微小摩耗を監視できることが判明した。

ウ. 量産金型の金型部品と製品の関係を明らかにする。

金型部品と製品の関係を明らかにする仕組みは、上記 (イ) の対象を金型部品とプレス製品に置き換えることで対応できた。

2-2-2 金型部品の寿命向上を目指した鍛造シミュレーションの利用技術の確立

板鍛造の工程設計に於いては過去の経験のみで設計しており、量産時の金型破損が多発している。破損を防止するために鍛造シミュレーションの活用が考えられるが従来の鍛造シミュレーションは丸棒を素材とする軸鍛造用として開発されており、素材に異方向性のある板鍛造にそのままの利用できるかが未確認な部分が多い。板鍛造に適応した3次元成形シミュレーションの利用技術の開発が必要である。精密板鍛造のコスト低減の障害になっている成形金型の破損までの寿命を2倍以上向上させる為に成形時の強度解析を行い、最適な工程間の金型形状を作り出す技術開発を行う。

(1) 22年度実施

鍛造シミュレーションは軸鍛造用に開発されているため、精密板鍛造でも使用できるように鍛造シミュレーションの利用技術を開発する。初年度は、弊社の破損事例より、生産している金型部品の破損状態とシミュレーションの強度確認結果、その応力の高さの値と破損している箇所が一致するか確認を行い、寿命に関してはその応力値と寿命との関係を調べる。

1) 金型部品の破損状態とシミュレーションの強度確認結果の比較

1. 金型部品の破損状態

① 部品形状と破損箇所を 図 2-2-2-1 に示す

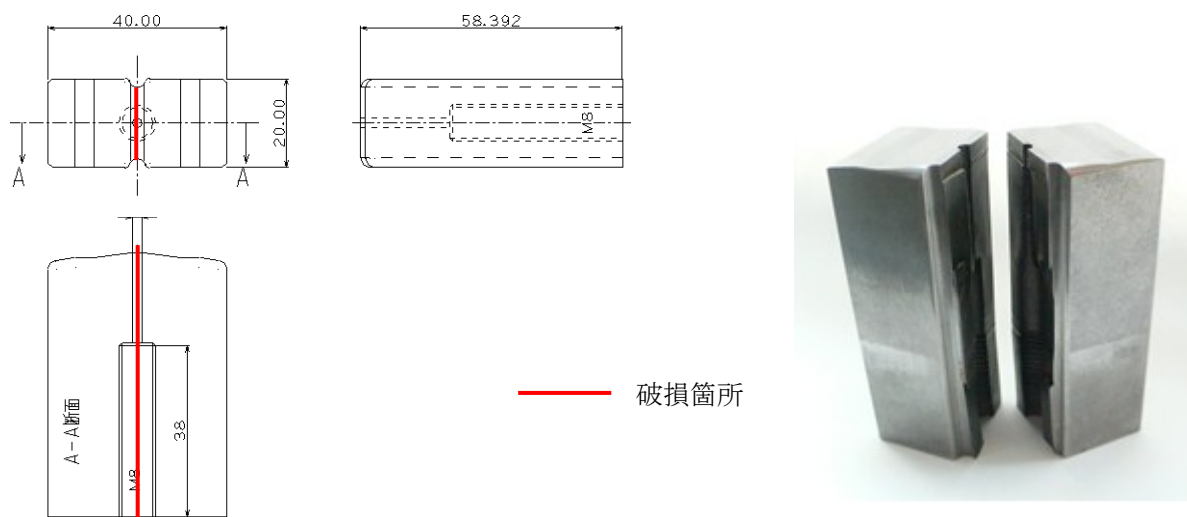


図 2-2-2-1 破損金型図面 破損箇所

② 材質

超硬合金 V60

2. シミュレーションの結果と金型部品の破損状態との比較

シミュレーションした結果応力値の高い箇所とパンチの破損の起点箇所が一致した。図 2-2-2-2 図 2-2-2-3 に示す。

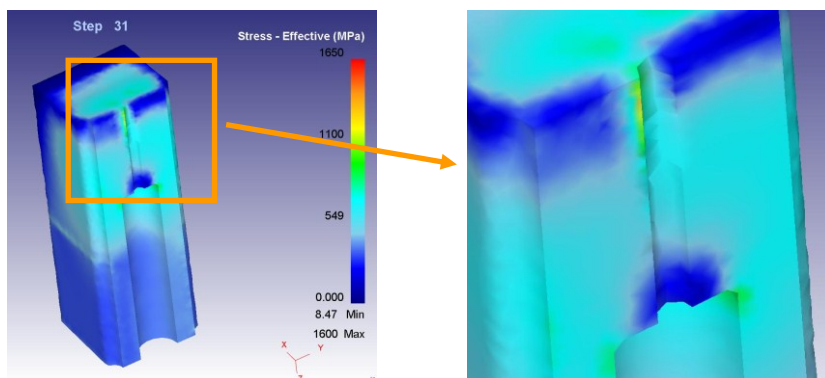
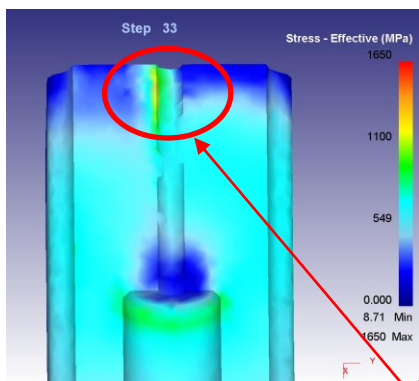


図 2-2-2-2 成形解析の応力結果



応力値の高い箇所とパンチの破損の起点箇所が一致

図 2-2-2-3 金型部品の破損状態との比較

(2) 23年度実施

23年度は、社内破損事例の検証を数点実施して、応力の高い場所と破損の場所が一致する様に設定条件を見直していき板鍛造にシミュレーションが使えることを確認した。

1) 製品「A」外形パンチ試作中に発生している不具合箇所（パンチ破損）

製品「A」試作開始時より外形抜き工程にてパンチの剥離が起こった。

パンチが膨らむことでストリッパと干渉して剥離すると推察し、パンチを小さくすると剥離が起こらなくなった。シミュレーションにて実際にパンチの形状がどのように変化しているか確認した。

1) 成形解析結果

解析画面を図 2-2-2-4 図 2-2-2-5 に示す。

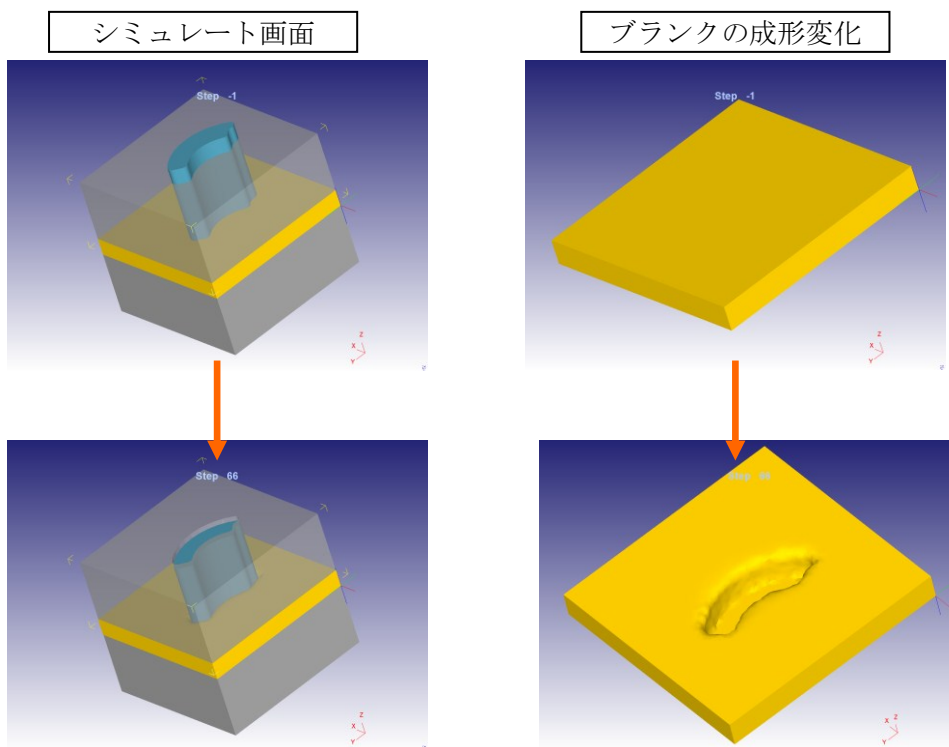


図 2-2-2-4 シミュレートによるブランク

選択したステップは工具応力が最大となる所を選んだ。

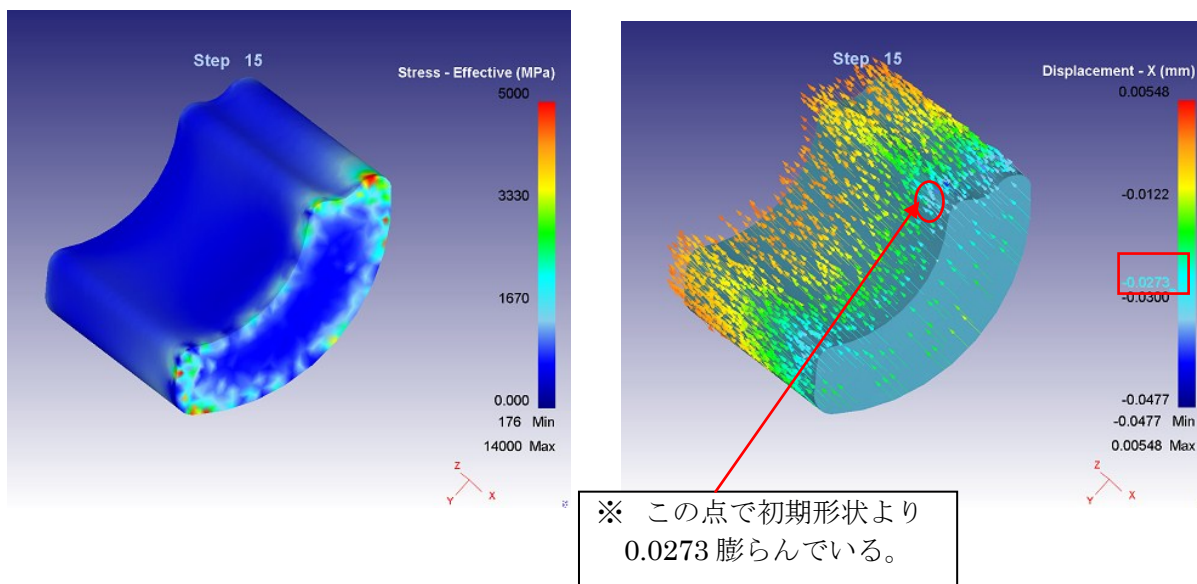


図 2-2-2-5 工具応力、工具変位応力と歪

	生産数量
生産 A	9600 (剥離発生)
生産 B	3000 (剥離発生)
生産 C	4376 (剥離発生)
内側クリアランス変更 0.33→0.60	
生産 D	62760
生産 E	89000
生産 F	96180

表 2-2-2-1 クリアランス変更前後比較

2次せん断面が発生していたのでその対策として内側のクリアランスを0.33から0.60に広げたところパンチの剥離がなくなった。この追加工の結果、パンチとストリップの隙間は0.01から0.28に増えたことになる。抜きの圧力でパンチが0.03膨らみストリップとの間で剥離現象がおこったと想像される。

この場合も生産数量は十倍以上ちがっている。

(3) 24年度実施

24年度は、金型設計の際にシミュレーションした結果を CAD 化して設計当初の製品及び工程の狙い目図として利用する技術開発をおこなった。

1) 絞り形状のシミュレーショ

図のような絞り工程のシミュレーションを実施した。

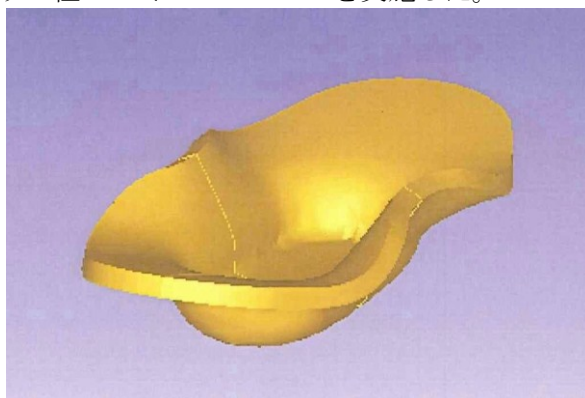


図 2-2-2-6 絞り工程ねらい

1 / 4のプランクで、シミュレーションを行なった。

- ①各オブジェクトの入力を行ない、シミュレーションを行なったところ、図 a のように底がつぶれてしまい、思ったような形にならなかった。入力間違いが無いか確認したが、思い当たるところも無く、とりあえずバネ係数を変えて、再度シミュレーションしてみることにした。a のシミュレーションには 15 時間かかっているため、メッシュ数を 10 万以上から 1 万に変え、まずは、フランジが立った形になるか試した。

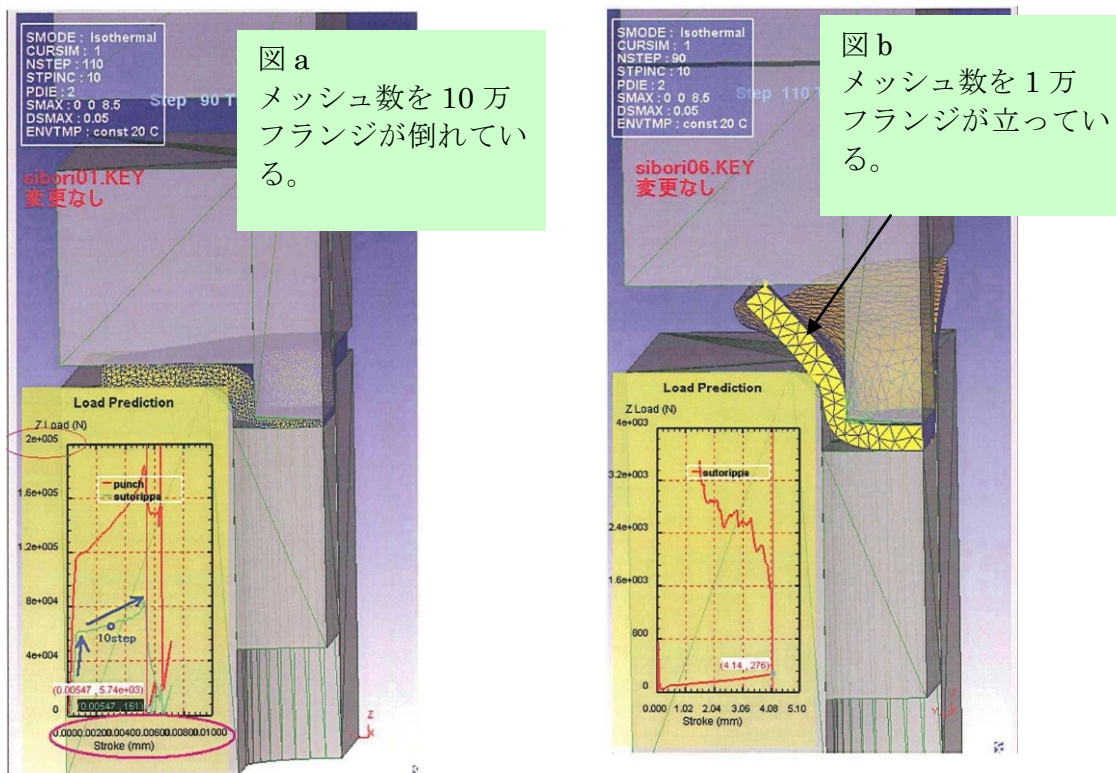


図 2-2-2-7 メッシュ数の差による結果

- ②結果、フランジが立った形に出来た（シミュレーション時間は約 9 分）。バネ圧を 1 / 4 にしただけで、そこまで変わったので不思議に思い、今度は、a とメッシュ数のみ変えたシミュレーションを行なってみた。

- ③結果②と同様、図 b のようにフランジが立った形に出来た。

④メッシュ数の影響による、シミュレーション結果の違いが分からないため、サポートへ問い合わせを入れた。ソフトのサポートの当初の見解では、「メッシュ数が少なく(節点数が不足)、工具との接触面を適切に再現されていない場合は、妥当解から離れた結果で収束することも考えられる」とのことでしたがソフトのサポートと開発元にて検証された結果、メッシュ数 10 万のモデルでは、スライディングダイの剛性とは異なる荷重で釣り合ったステップが存在していた。メッシュ数 1 万のモデルでは、スライディングダイの最大変位に到達するまで、設定した剛性の荷重で釣り合った近似解を示しているため、メッシュ数 1 万のモデルのほうが妥当性のある結果と考えられる。

メッシュ数 10 万のモデルの要因として、要素サイズが小さくなることで、メッシュサイズに対するステップサイズ（ダイ変位量 0.05mm）の割合が大きくなり、収束される近似解が不安定になり、誤差が累積されている。また、収束法で選択されている[直接反復法]を用いた場合に今回のような状況になる。

上記要因より、メッシュ数 10 万のモデルと同じ要素数で結果の妥当性の高める方法として、収束法を[ニュートンラプソン]に変更と、収束許容差を小さくすることで妥当な解を計算させることができた。

・[シミュレーションコントロール]-[収束法]-[変形]

ソルバー： スパース法（変更なし）

収束法： 直接反復法 ⇒ ニュートンラプソン

許容差： 速度の許容差 0.005 ⇒ 0.001

力の許容差 0.05 ⇒ 0.01

また、収束法を変更しない方法としては、ステップサイズを小さくし、同様に許容差を小さ

くする方法も考えられる。ステップサイズを大幅に小さくすれば、収束許容差も変更せずに、デフォルトの値のまま妥当な解へ収束する。ただし、計算ステップ数が増加し、計算時間の増加が懸念される方法です。

④今後に向けて

シミュレーションソフトのサポートでも、妥当な解を計算させるための条件は難しいですが、シミュレーションを行なうことにより、製品が出来る、出来ないの判断基準、集中荷重による、金型破損の改善に役立てることが出来る。活用の手順としては、いきなり10～20時間もシミュレーションにかかるようなメッシュ数とせず、荒いメッシュでシミュレーションし、これまでの経験とある程度合致する解が出たら条件を変更して、精度の高い結果を出していく。

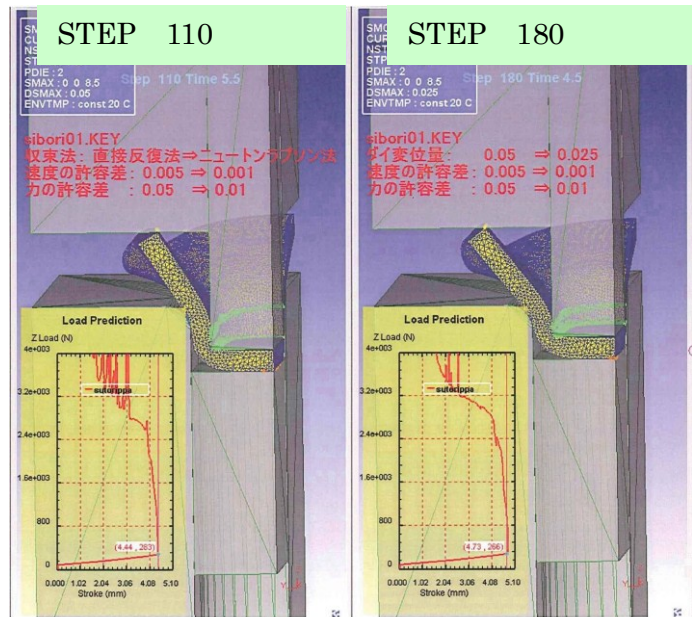


図 2-2-2-8 STEP 1 0 0 STEP 1 8 0

2-3 金型の耐久性を高めるためのコーティング及び潤滑油の最適化技術の確立

金型の耐久性向上のため、PVD 法による硬質皮膜の形成等各種の表面処理技術を採用するケースが増えている。金型のメンテナンスコストの削減と生産性向上のために、皮膜と潤滑の最適化条件の確立及び金型再生（除膜）技術の確立を図り、実際の製品形状において金型の1メンテナンス当り寿命を2倍以上にする技術を確立する。

具体的には以下の研究項目を平成22～24年度の3年間で実施する。

- 金型の更なる高寿命化のためには高面圧部における被加工材の凝着に起因する耐摩耗性の改善が必要であり、高硬質・高密着等の皮膜の検討のみならず適切な潤滑油の選択・使用が重要である。金型への使用実績の多い表面処理としてイオンプレーティング法により成膜されるチタン系、クロム系、バナジウム系の皮膜を対象に、潤滑剤との相性をウェット条件における摩擦摩耗試験等を通じて評価し、適切な潤滑油を選定する。
- 実際の現場使用においては、所定の加工精度を確保できなくなった金型は、古い皮膜を除去（除膜）した後に再度成膜して再生使用することが多いことから、効率的な除膜・再生技術を取得することはメンテナンスコスト抑制に大きく寄与する。除膜方法、除膜条件と金型表面状態の関係を表面粗さ等によって評価し、最適な除膜条件を見出す。
- 実機レベルにて、上述 a、b を踏まえた試作金型を作成し、厚板で所定の形状（モジュール0.5、先端R0.15mm以下の歯車）の製品をプレス加工し、金型寿命を評価する。

今年度は上述 b.、c. について、以下の内容を実施することとした。

- について（除膜による基材への影響調査）

基材に高速度工具鋼（SKH51）を使い、これに窒化クロム（CrN）をコーティングして、除膜液を使った化学的除膜法が基材の表面粗さ等に及ぼす影響を評価する。

- について（微細歯車形状品の加工実証試験）

量産品に応用し従来比2倍以上を目標に23年度は厚み4.5mmのSCM435を実施した。24年度は厚み3.3mmのS45Cでモジュール1、先端R0.15mmの歯車形状の部品と面粗さの関係を明らかにする実験をおこなった。

(1) TiCN 皮膜及びVC 皮膜と各潤滑油との相性評価について（項目 a）

1. 22年度実施

22年度は、使用実績の高いTiCN皮膜およびVC皮膜を地方独立行政法人鳥取県産業技術セ

ンターのイオンプレーティング装置で成膜し、最適な潤滑油の選定を行った。評価は摩擦磨耗試験等によって行った。

1) 皮膜と潤滑油の相性評価

廃却した型を調査したところ、図 2-3-1 に示すように被加工材が溶着している状態が観察された。このような被加工材がパンチ表面に溶着することによって、被加工材のせん断面にキズが発生し、表面粗さを大きくさせて不良となる。

皮膜と潤滑油の相性評価とは、皮膜の耐焼付き性を抑制するための最適な潤滑油を評価することとする。

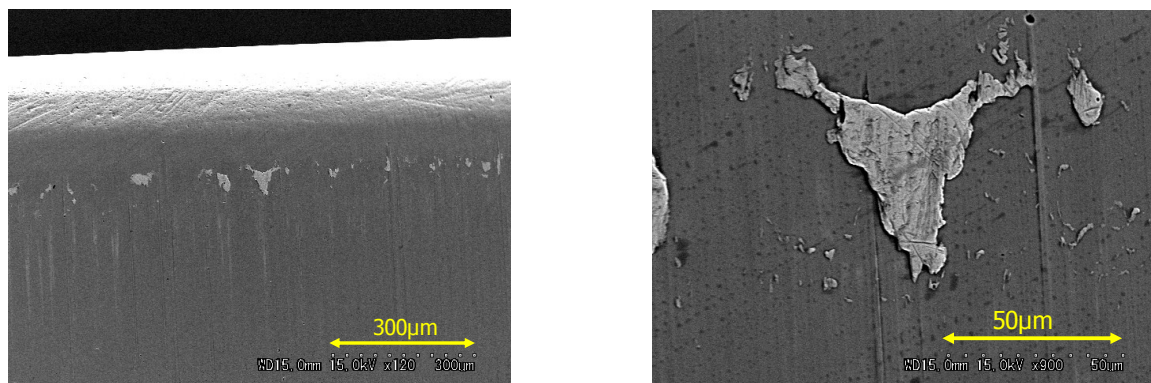


図 2-3-1 廃却金型の SEM 画像
(右図は 左図中央付近を拡大)

表 2-3-1 試験に供した潤滑油

	商品名	メーカー	動粘度 (40°C)	密度	極圧剤
油①	EH-7320	日本工作油	29.7	0.91	硫黄系
油②	FB-464M	日本工作油	70.7	1.05	硫黄系
油③	FB-689	スギムラ化学	104.0	1.08	リン系+硫黄系

(MSDSより)

いずれも耐焼付き性の良好な潤滑油として市販されているものであり、プレス加工用として現場での利用実績の多いものである。

これを蛍光 X 線エネルギー分散型分析装置 ((株)堀場製作所製 XGT-2700) により分析した結果を図 2-3-2 に示す。潤滑油メーカーの MSDS では極圧剤として「硫黄系」または「リン系+硫黄系」という表記がなされ、油②は「硫黄系」と区別されていたが、分析結果から油②はリンも含有していた。熱重量分析装置 ((株)島津製作所製 熱分析装置 TGA-50) で N₂ 雰囲気中、昇温速度 10°C/min で分析した結果を図 2-3-3 に示す。いずれも 200°C 付近から重量減少が起こり始め、400°C 付近までで揮発成分がなくなる傾向を有している。

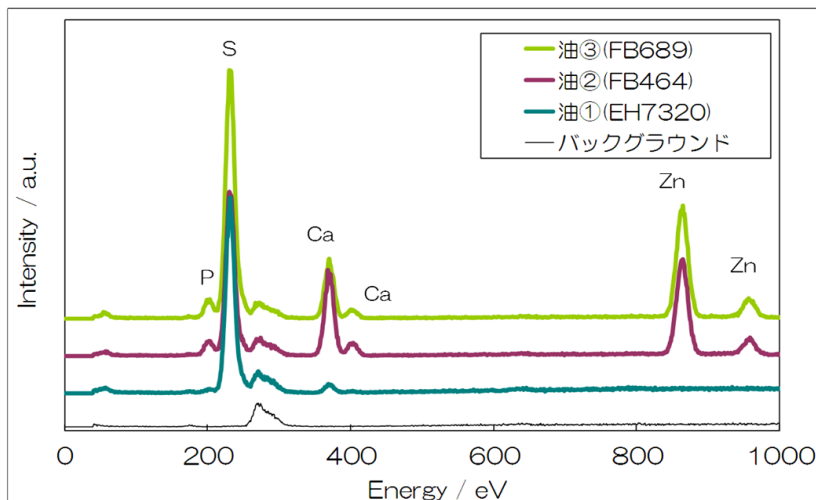


図 2-3-2 潤滑油の蛍光 X 線分析結果

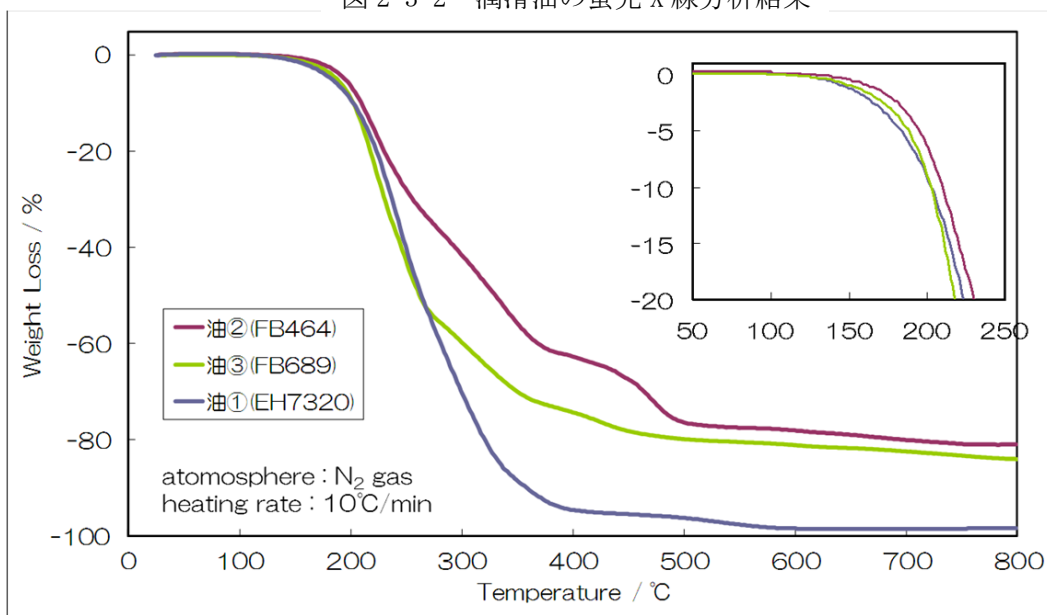


図 2-3-3 潤滑油の熱重量分析結果

③ 摩擦摩耗試験

耐焼付き性の評価として、摩擦摩耗試験機（CSM instrument 社製 摩擦摩耗試験機 TRIBOMETER THT800）によりボールオンディスク法によってボールをディスク（試験片）表面に摩擦させながら摺動させたときの摩擦係数の変化を測定した。試験概要を図 2-3-4 に示す。

試験片の表面には潤滑油を所定の重量だけ塗布し、これを均一に延ばして試験機にセットした。試験片は、底部のヒータによって加熱され、表面温度が 150°C となったところでボール（Φ6.25mm、材質 SUJ2、57~60HRC）を試験片表面に $r=5.5\text{mm}$ の円状を摺動速度 100mm/s となるように接触させ、摺動距離を最長 200m として摺動させた。このとき、ボール上部に錘（おもり）を載せて、規定の荷重がかかるようにした。なお、ボールの摩耗が進まない状態では、荷重 10N の場合でも接触部において 1GPa 以上の面圧となる。

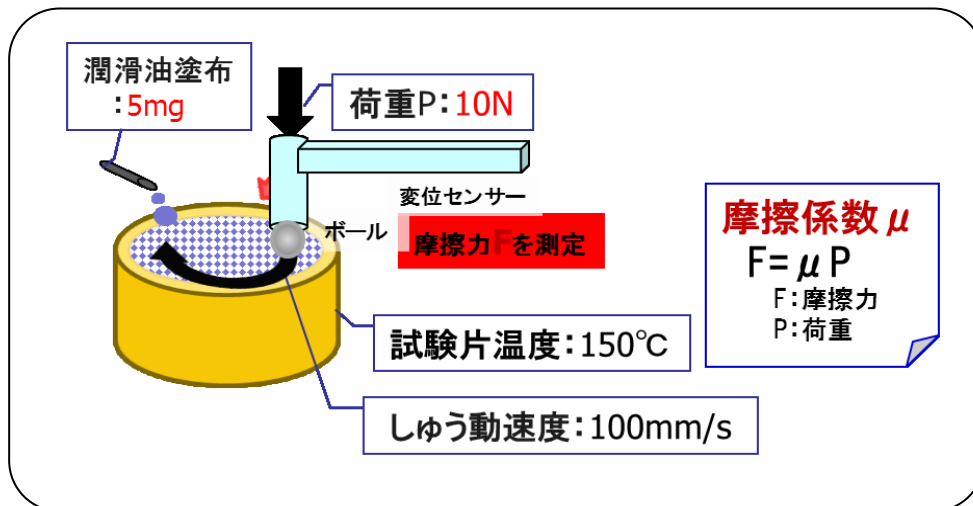


図 2-3-4 摩擦摩耗試験の概要

3) 試験結果

① VC 皮膜と各種潤滑油との相性

VC をコーティングした試験面に各種潤滑油を塗布した試料の摩擦摩耗試験結果を図 2-3-5 に示す。

3 種の潤滑油いずれの場合も、摺動開始から摺動距離 30m 程度までは摩擦係数 $\mu = 0.10 \sim 0.15$ 程度の低摩擦係数の状態があり、摺動距離 30m 程度から摩擦係数が上昇し始め、 $\mu = 0.4 \sim 0.5$ 程度の水準に移行した。そして、油②及び③は摺動距離 100m 程度から摩擦係数が再度上昇し始め、最終的には $\mu = 0.7$ 程度に達した。一方、油①は、30m 程度から摩擦係数が上昇し始めたが、上昇傾向は他より緩やかで、摺動距離 60m 程度で $\mu = 0.4$ に到達してから 190m 程度まで $\mu = 0.4$ 付近で安定し、190m 付近から再度上昇傾向を示した。

よって、この 3 種の潤滑油と VC 皮膜の相性評価としては、油①が耐焼付き性の点で優位であると推定された。

なお、事前の予備試験から、大量の潤滑油が共存する条件での摩擦係数は概ね $\mu = 0.1$ 程度、逆に潤滑油を添加しないドライ条件での VC 皮膜上での摩擦係数は概ね $\mu = 0.7$ 程度であったことから、摩擦係数 $\mu = 0.10 \sim 0.15$ の段階では流体潤滑の状態、その後、境界潤滑の状態に移行し真実接触面が増加してドライ条件に近い状態に至ったと推測した。

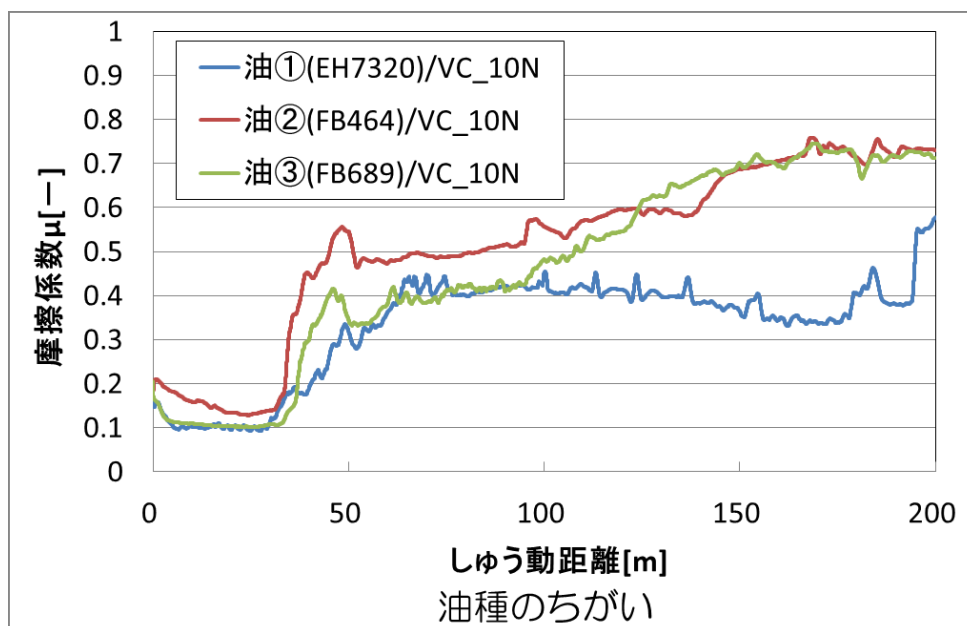


図 2-3-5 VC 皮膜の摩擦摩耗試験結果

② TiCN 皮膜と各種潤滑油との相性

TiCN をコーティングした試験面に各種潤滑油を塗布した試料の摩擦摩耗試験結果を図 2-3-6 に示す。

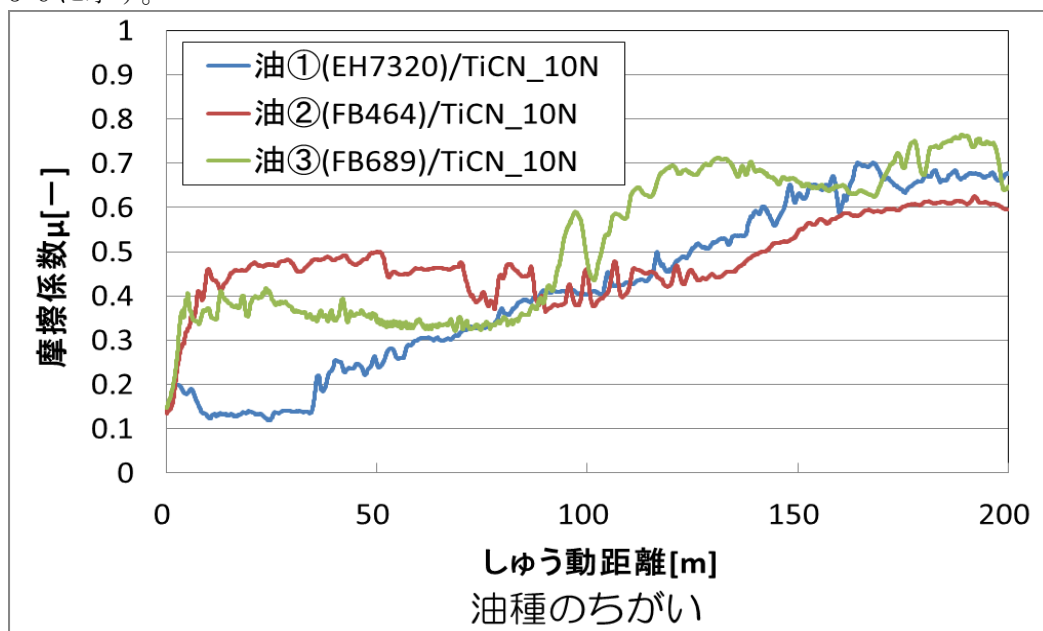


図 2-3-6 TiCN 皮膜の摩擦摩耗試験結果

油①は摺動開始から摺動距離 30m 程度まで摩擦係数 $\mu = 0.15$ 程度の低摩擦係数の状態にあり、その後摩擦係数が徐々に上昇し始め、摺動距離 160m で $\mu = 0.7$ に達した。油②及び③は、摺動開始 10m までに摩擦係数が上昇して $\mu = 0.3 \sim 0.5$ 程度の水準に達した。その後、油③は摺動距離 100m まで、油②は 140m までその状態で安定したが、再び上昇し始め $\mu = 0.7$ 程度に達した。よって、3 種の潤滑油と TiCN 皮膜の相性評価としては、油①が耐焼付き性の点で優位であると推定した。

2. 23 年度実施 皮膜と潤滑油の相性評価の検討

1) 皮膜と潤滑油の相性評価

昨年度の廃却型調査でパンチ表面に被加工材が溶着している状態が観察され、これが被加工材のせん断面にキズを発生させ、表面粗さを悪化させている大きな原因であると考えられた。よって、皮膜と潤滑油の相性評価法として耐焼付き性に着目し、昨年度はボールオンディスク法による摩擦試験を行った。ボールオンディスク法では、3 種の潤滑油と 2 種の皮膜について一定の比較評価を行うことができたが、摩擦係数変化は小さく、その差をもって比較評価するのが妥当かどうか判断が難しい部分があった。そこで、今年度は、耐焼付き性評価の例が多いファレックス試験チタン炭・窒化物 (TiN、TiCN、TiC)、クロム窒化物 (CrN)、バナジウム炭化物 (VC) をイオンプレーティング法でコーティングし、粘性等の異なる 3 種の潤滑油との相性を摩擦試験によって評価する。

2) 試験方法

①フレックス試験

ファレックス試験は、回転するジャーナルピン(以下、ピン)をV型のブロック(以下、Vブロック)2個で挟み込み、荷重を加えることにより発生する摩擦トルクから潤滑剤、コーティングの潤滑特性を四線接触で評価する試験であり、比較的高荷重下で摺動する材料の組み合わせを評価する試験として実施されている。今回の試験では、ピンの表面に成膜した各種の皮膜とVブロックを潤滑油の中に浸漬して、摩擦トルクの変化から耐焼付き性を比較評価した。試験装置は神鋼造機(株)製ファレックス式摩擦摩耗試験機を使用した。装置図を図 2-3-7 に示す。



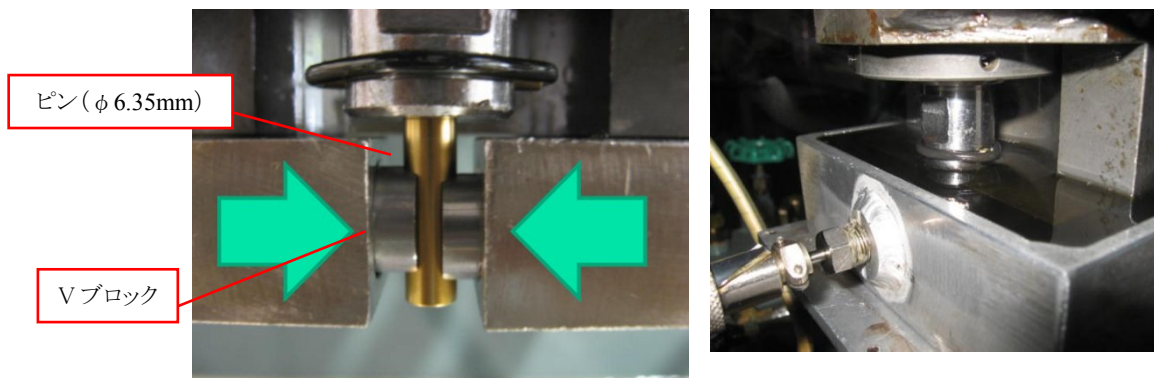


図 2-3-7 ファレックス試験

(上図：装置、下左図：ピンをVブロックで挟み込み、下右図：ピン等を潤滑油の中に浸せき)

ピンは 290rpm (周速 約 100mm/s) で回転させ、Vブロックを 136kgf (300lbf) の荷重で挟みつけて 3 分間保持する。次に、454kgf (1000lbf) の荷重まで一定速度で負荷して行き、1 分間保持する。同じように 908kgf (2000lbf) の荷重まで一定速度で負荷して行き、1 分間保持する。更に 1135kgf (2500lbf)、1362kgf (3000lbf) と段階的に負荷をかけて、その間の摩擦トルク (摩擦係数に変換可能) の急激な上昇や、それに伴うピンの回転の停止等の状況を測定、観察した。荷重条件の概要を図 2-3-8 に示す。

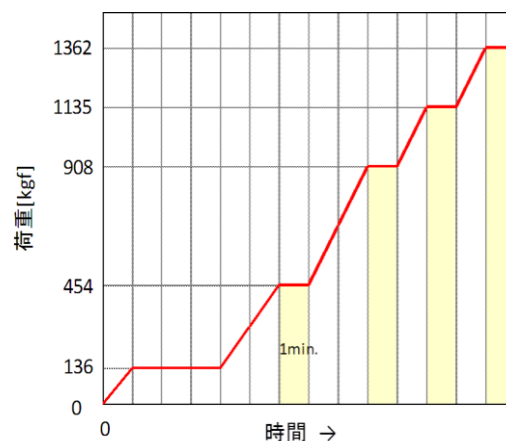


図 2-3-8 荷重条件

② 試験片

ピンには SKH57 (調質済み 830HV) を使い、φ 6.35mm の形状として使用した。これに皮膜を膜厚約 4μm となるようにコーティングした。表 2-3-2 に皮膜の硬度とコーティングの表面粗さを示す

ピンには SKH57 (調質済み 830HV) を使い、φ 6.35mm の形状として使用した。これに皮膜を膜厚約 4μm となるようにコーティングした。表 2-3-1 に皮膜の硬度とコーティングの表面粗さを示す。

皮膜の合成には、中空陰極放電 (HCD) 方式である (株) 不二越製イオンプレーティング装置 SS-2-8SP を用いた。皮膜合成用原料には、バナジウム (純度 99.9% 以上)、チタン (純度 99.5% 以上)、アセチレンガス、窒素ガスを用いた。

Vブロックには SS 材 (210HV) を使い、V字角度が 96° となるようワイヤーカット放電加工を行った後にラップ処理を施して表面粗さ Ra0.2μm、Rz 2μm 程度としたものを使用した。

表 2-3-2

ピンにコーティングした表面のビッカース硬さとコーティング後のピンの表面粗さ

膜種	硬さ [HV]	表面粗さ	
		Ra[μm]	Rz[μm]
TiN	2000	0.14	0.99
TiCN	2400	0.14	1.27
TiC	3600	0.15	1.09
VC	3000	0.15	1.01
CrN	1900	0.12	0.85
コーティングなし	830	0.15	0.95

③ 潤滑油

試験に供した潤滑油は、表 2-3-3 に示す 3 種である。

いずれも耐焼付き性の良好な潤滑油として市販されているものであり、プレス加工用として現場での利用実績の多いものである。これら潤滑油について、(株)エー・アンド・ディ製 振動式粘度計 SV-10 を用いて粘度を測定した。

表 2-3-3 試験に供した潤滑油

	商品名	メーカー	動粘度 (40℃)	密度	極圧剤
油①	EH-7320	日本工作油	29.7	0.91	硫黄系
油②	FB-464M	日本工作油	70.7	1.05	硫黄系
油③	FB-689	スギムラ化学	104.0	1.08	リン系+硫黄系
(MSDSより)					

ここでは、ヒータを使って室温(約 30℃)から約 150℃まで潤滑油を加熱したときの粘度測定結果を表 2-3-4、図 2-3-9 に示す。油①は 50℃で 19mPa・s と他よりも低粘度な特徴を有し、一方、油②及び③は温度に対して同じような挙動を示し、50℃付近で約 80mPa・s、100℃で約 20mPa・s 程度を示した。

液温	油① (EH7320)	油② (FB464)	油③ (FB689)
50℃	19	75	85
100℃	5	18	16
[mPa・s]			

表 2-3-4 使用した潤滑油の粘度

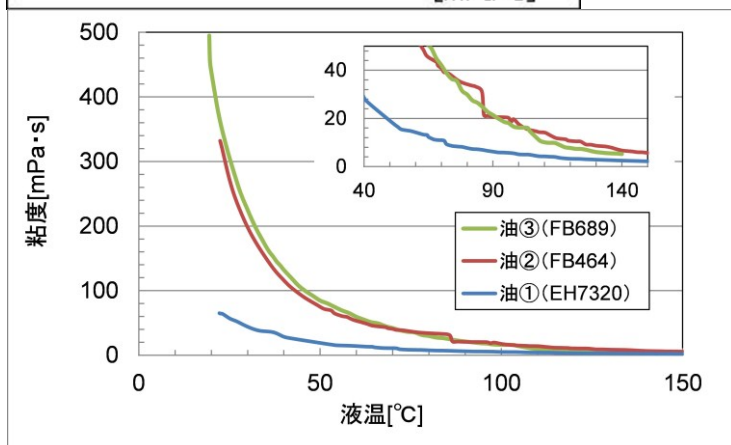


図 2-3-9 使用した潤滑油の粘度特性

3) 試験結果

試験では、Vブロックを挟み込む荷重を高めることで、摩擦トルクが急激に上昇してピンの回転数が不安定になり停止する様子が確認され、この状態を“焼付き”と判断した。そこで、各試験条件での耐焼付き性評価として次のように整理することとした。

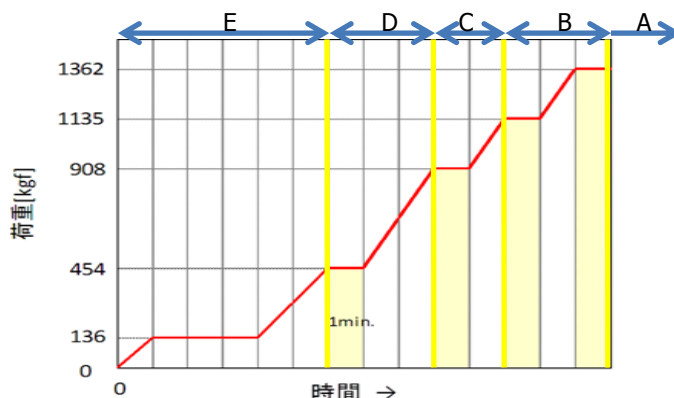


図 2-3-10 耐焼付き性の評価区分 (A～E)

つまり、荷重 454kgf を負荷するまでに焼付き状態になった場合を耐焼付き性“E”、そこから 908kgf を負荷するまでに焼付き状態になったものを耐焼付き性“D”、1135kgf を負荷するまでに焼付き状態になったものを耐焼付き性“C”、そこから試験終了までに焼付き状態になったものを耐焼付き性“B”、この試験条件では焼付き状態を示さなかった場合を耐焼付き性“A”として表わすこととした。図 2-3-10 に評価区分の概要を示す。

耐焼付性評価結果を表 2-3-5 に示す。コーティング無しでは油②、③が油①よりも良好な結果を示したが、コーティングを施したことで油①は供試した5つの膜種いずれもA評価となり、非常に良好な耐焼付性を示した。油③も CrN 膜や TiCN 膜でやや劣ったものの油①と同程度の耐焼付性を示した。一方、油②はコーティングによる効果が見られず、他の潤滑油よりも耐焼付性に劣る傾向を示した。このような結果に大きな差異が見られたことについて、特に油②と③の差異については、今後解析を行う必要がある。膜種について比較すると、顕著な差異は見られないが、VC 膜は3種の潤滑油いずれでも比較的良好な性能を示した。

表 2-3-5 耐焼付性評価結果

	油① (EH7320)	油② (FB464)	油③ (FB689)
コーティング無し	E	D	D
TiN	A	D	A
TiCN	A	D	B
TiC	A	D	A
VC	A	B	A
CrN	A	D	C

なお、平成 22 年度に実施したボールオンディスク法による評価では、潤滑油については油① (EH7320) が耐焼付性では優位と判断していたが、今回の結果はその結果と類似するものとなった。

③ 摩擦摩耗試験後の試験片表面の状態観察

今回の摩擦摩耗試験は、耐焼付性を評価することを意図していることから、試験後の摩擦面において凝着現象が確認されるかどうか表面状態を観察した。観察、分析には走査型電子顕微鏡及びエネルギー分散型元素分析装置 (日立ハイテクノロジーズ(株)製 S-3500H、EDX7490-H) を用いた。TiCN 皮膜に油③を塗布して 200m 摺動した後の試験片 (アセトンによる油分等ふき取り洗浄後) について、摩擦面周辺の SEM 画像を図 2-3-11 に示す。

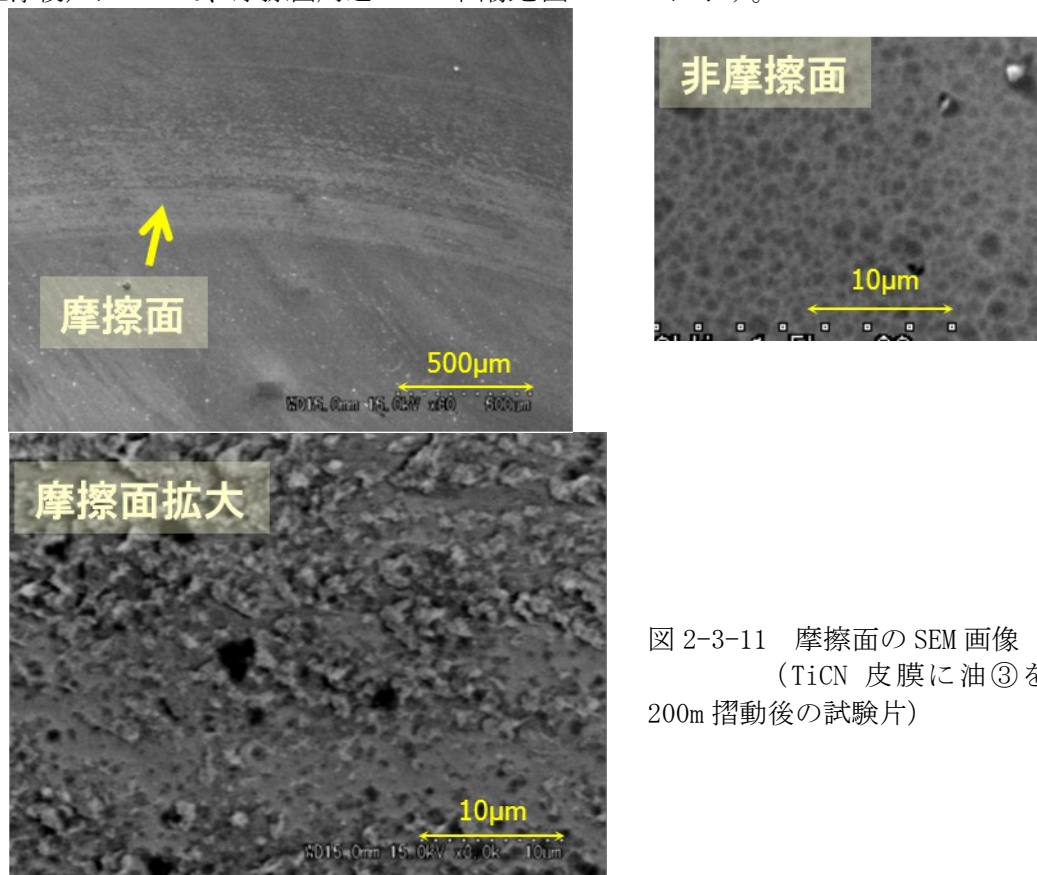


図 2-3-11 摩擦面の SEM 画像
(TiCN 皮膜に油③を塗布し
200m 摺動後の試験片)

摩擦面を拡大観察すると、数 μm 程度のささくれたような痕跡が観察された。この摩擦面及びその近傍の非摩擦面を元素分析した結果を図 2-3-8 に示す。摩擦面では皮膜由来成分のほか鉄成分が検出された。一方、非摩擦面では鉄成分が検出されたものと考えられた。

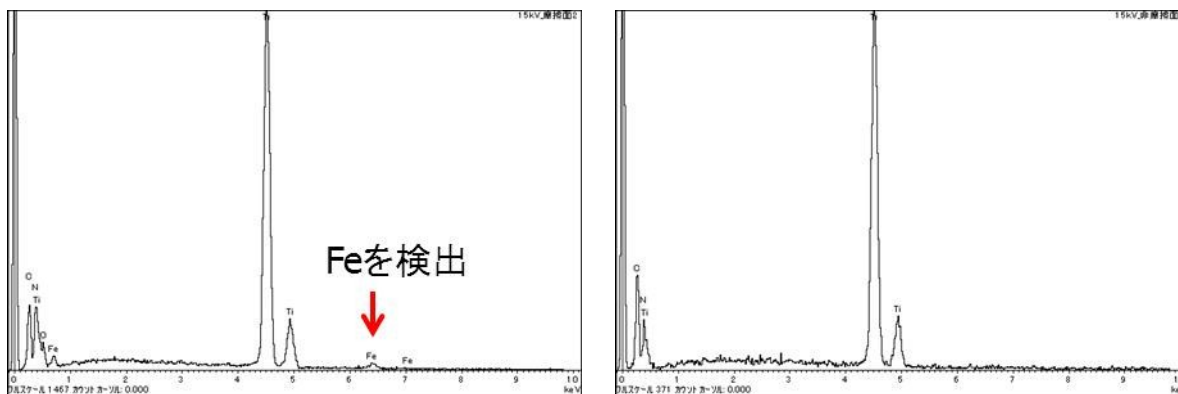


図 2-3-12 摩擦面の元素分析結果
(上図：摩擦面、下図：摩擦面近傍の非摩擦面)

3. 23年度実施 TiN 除膜

1) 除膜について

基材に超硬及び高速度工具鋼 (SKH51)、これに窒化チタン (TiN) をコーティングする場合を想定して、除膜液を使った化学的除膜法が基材の表面粗さ等に及ぼす影響を調査する。

実際の現場使用においては、所定の加工精度を確保できなくなった金型は、古い皮膜を除去 (除膜) した後に再度成膜して再生使用することがある。この除膜方法としては、ブラスト処理等による物理的な方法と薬剤を用いる化学的な方法に分類できる。

物理的な手法は、均一な除膜が難しく作業時間がかかる、作業者の能力に依存するなどの問題が多いため、一般には化学的な除去法を採用するケースが多い。化学的手法には、酸をベースにした方法、酸化剤とアルカリをベースにした方法、またはこれに電気化学的手法を併用した方法等が考えられており、除膜液として市販されているものもある。ただし、使用する薬品の特性によって特に超硬材料の除膜については、超硬基材中のタングステンカーバイド (WC) あるいはバインダであるコバルトの腐食・溶出制御が難しいとされ、市販の超硬材料用除膜液はあまり多くないのが実状である。

ここでは、除膜液として購入が可能な薬品を利用して、金型材料である高速度工具鋼 (SKH51) と超硬を除膜したときの基材への影響を把握することとした。

2) 試験方法

①試験片

SKH51 (HRC63、調質済み) と超硬 ((株) 三和ダイヤモンド工業所製 「H10」、分類記号「V30」相当) を材質とする $\phi 25\text{mm} \times t10\text{mm}$ の形状のものに鏡面研磨加工を施した基材を用意した。これに TiN 皮膜 (膜厚約 $5\mu\text{m}$) をコーティングして試験に供試した。なお、成膜には (株) 不二越製イオンプレーティング装置 SS-2-8SP を用いた。

②除膜処理

除膜液には日本表面化学(株)製チタニックを用い、指定の処方条件にて除膜処理を行った。除膜の際は、樹脂容器に除膜液 100mL を入れて試験片 1 個を浸せきし、 28°C の恒温槽内に静置させて行った。

③評価方法

除膜処理した試験片は、基材表面粗さや硬度、表面組成の測定、再度成膜 (再生) したときの基材と膜の密着力を測定し、除膜の影響を評価した。

表面粗さの測定には (株) テーラーホブソン製表面形状粗さ測定機 PGI-Plus を用いて表面粗さ R_z と R_a 、硬度の測定は (株) アカシ製ビッカース硬さ計 AAV-4 を用いてビッカース硬さを測定した。表面組成は (株) 日立ハイテクノロジーズ製走査型電子顕微鏡 S-3500H に付属のエネルギー分散型 X 線分析装置 (SEM-EDS) (株) 堀場製作所製 EMAX 7490-H を用いて加速電圧 15kV で分析定量した。また、深さ方向の組成変化を確認するために (株) 堀場製作所製グロー放電発光分光分析装置 (GD-OES) JY-5000RF を用いて 基材深さ $10\mu\text{m}$ 程度の組成を分析した。基材と膜の密着性評価には CSM 社製スクラッチテスタ REVETEST を用いて、皮膜中に

進展するクラックや界面での剥離をアコースティックエミッションセンサによって検知する荷重（＝臨界荷重）を測定した。

3) 試験結果

① 基材の表面粗さ

ア) 除膜処理時間の影響

除膜処理を 12、24、48 時間としたときの SKH 及び超硬の基材表面粗さ Rz を図 2-3-5 に示す。

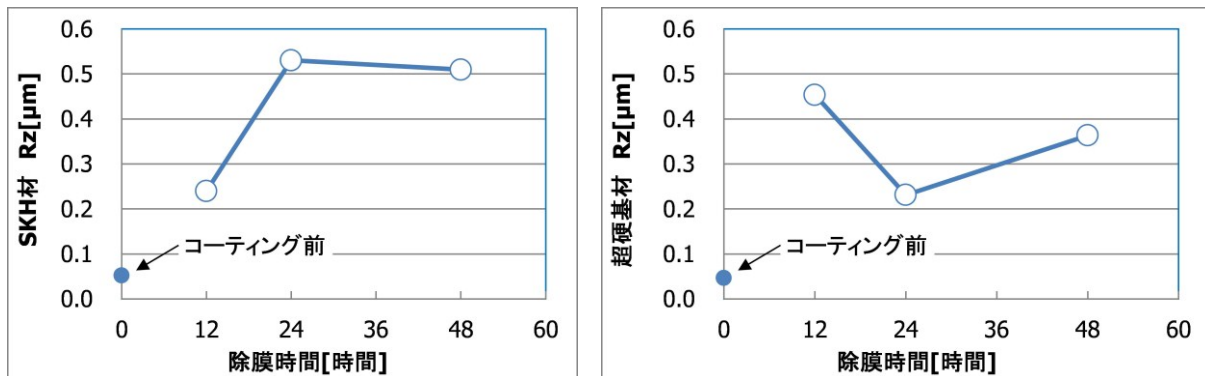


図 2-3-13 TiN 除膜処理時間が表面粗さに及ぼす影響（左図：SKH 材、右図：超硬）

SKH 材は、除膜処理 12 時間で除膜は完了し、24 時間になると Rz も大きくなり表面粗さが悪化した。一方、超硬は除膜処理 12 時間では除膜が不完全で目視観察できる程度の膜の欠片が基材表面に残った。24 時間になると除膜は完了し、さらに処理時間を長くすると Rz が大きくなり表面粗さは悪化する傾向が見られた。図 2-3-14 に除膜前後の基材の写真と除膜処理 12 時間の超硬の SEM 画像を示す。

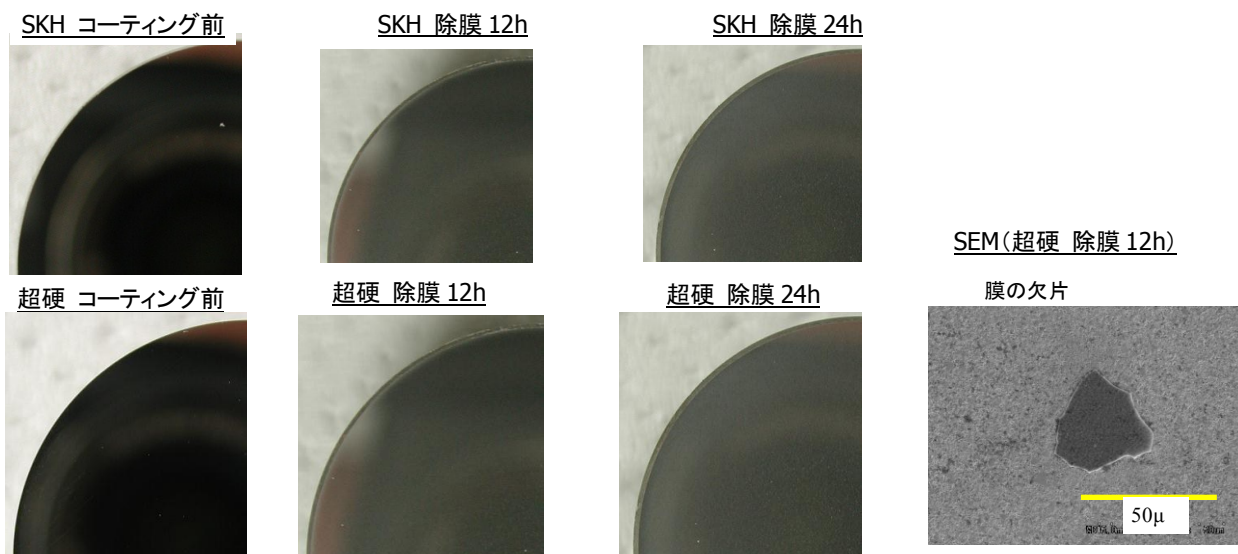


図 2-3-14 TiN 除膜後の基材

イ) 除膜回数の影響

SKH 材では 1 回の除膜処理を 12 時間、超硬では 12 時間あるいは 24 時間として、成膜→除膜を繰り返したときの影響を調査した。除膜を複数回行ったときの表面粗さを図 2-3-15 に示す。

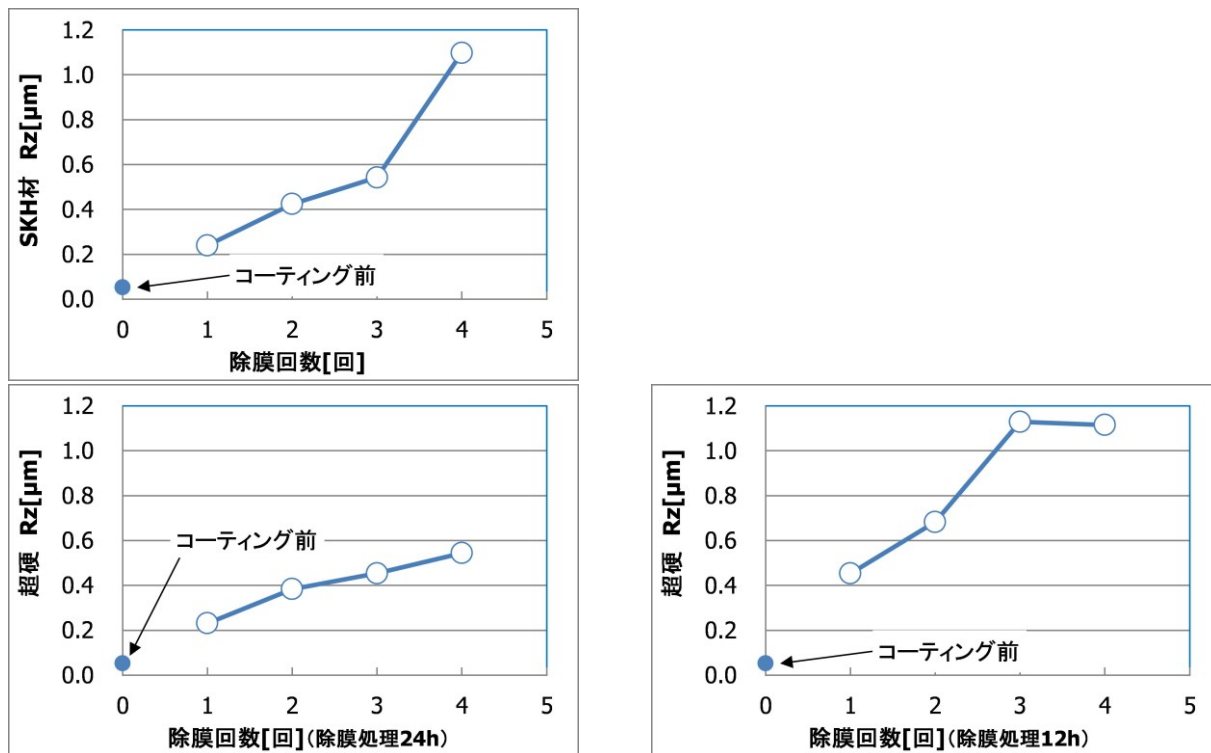


図 2-3-15 TiN 除膜回数が表面粗さに及ぼす影響
(上図：SKH 材、下左図：超硬(除膜処理 24h)、下右図：超硬(除膜処理 12h))

SKH 材、超硬のいずれも、除膜処理回数が増すことで Rz は大きくなり、表面粗さは悪化する傾向が見られた。

② 基材表面の硬さ

ア) 除膜処理時間の影響

除膜処理を 12、24、48 時間としたときの SKH 及び超硬の硬さを図 2-3-16 に示す。

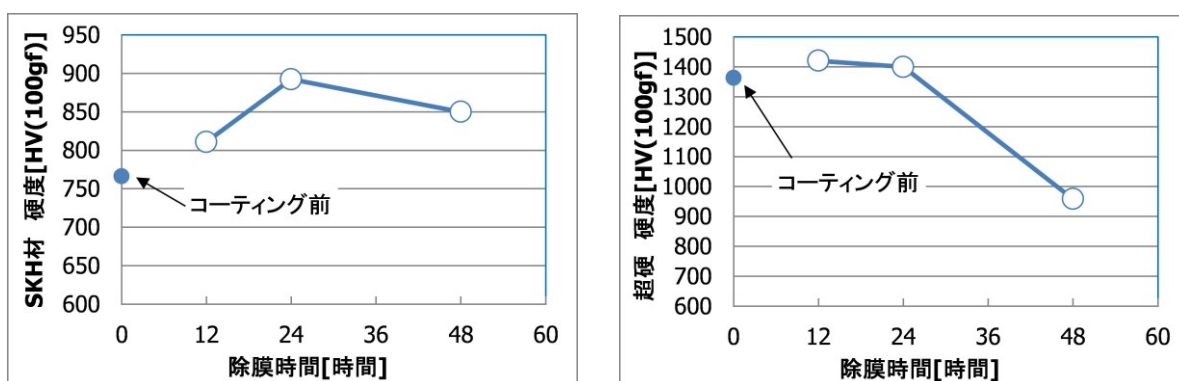


図 2-3-16 TiN 除膜処理時間が基材硬度に及ぼす影響 (左：SKH 材、右：超硬)

SKH 材では除膜処理によって硬度が上昇する傾向が見られた。一方、超硬は除膜処理 24 時間までは硬度に大きな変化は見られないが、48 時間では大きく低下した。同様に表面組成を SEM-EDS で分析 (加速電圧 10kV) したときのコバルト含有率を図 2-3-17 に示す。また、処理時間 24 時間、48 時間の試験片 (TiN 成膜品) の GD-OES 分析結果を図 2-3-18 に示す。

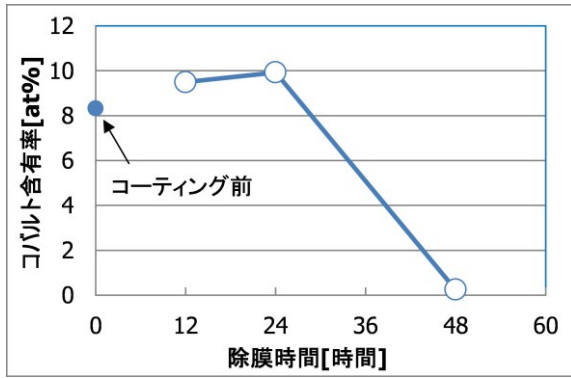


図 2-3-17 TiN 除膜処理による超硬表面のコバルト含有率

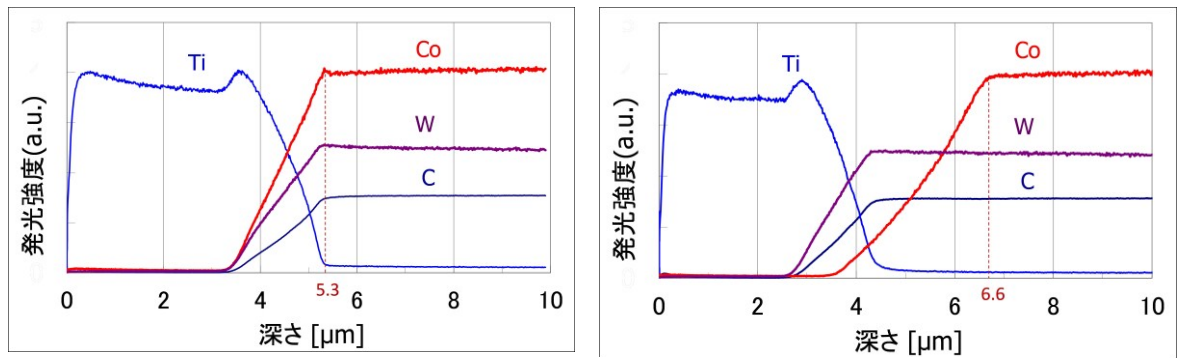


図 2-3-18 TiN 除膜処理による超硬表面のコバルトの溶出
(左図：除膜処理時間 24 時間の試験片、右図：48 時間の試験片)

コバルトは WC のバインダとして含まれているが、除膜処理 48 時間の試験片表面は SEM-EDS 分析ではコバルトがほとんど検出されず、GD-OES 分析から、その表面ではコバルトのみが表面より 1.3 μm 程度溶出していた状況が確認された。つまり、超硬の 48 時間処理品は、バインダ成分が溶出して表面が脆化し、結果としてビッカース硬度低下となって表れたと考えられた。

イ) 除膜回数の影響

除膜を複数回行った後の基材の硬さを図 2-3-19 に示す。

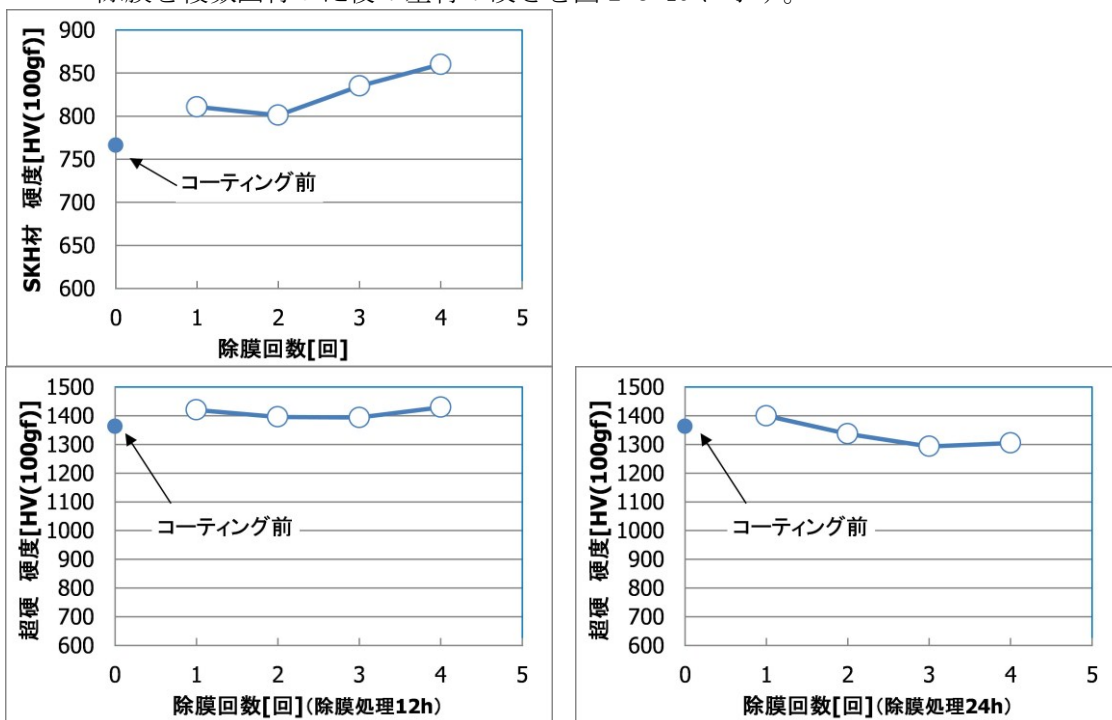


図 2-3-19 TiN 除膜回数が基材硬度に及ぼす影響
(上図：SKH 材、下左図：超硬(除膜処理 12h)、下右図：超硬(除膜処理 12h))

SKH 材では除膜処理回数が増すと硬度が上昇する傾向が見られ、超硬は回数が増しても硬度に

大きな変化は見られなかった。除膜後の SEM 画像を図 2-3-20 に示すが、除膜回数が増すにつれて表面の炭化物が目立つようになり、ビッカース硬さ試験時の圧痕も形状が歪になる傾向が強まった。つまり、SKH 材では除膜によって鉄の溶出が起こり、結果としてビッカース硬さを高く示したものと考えられた。

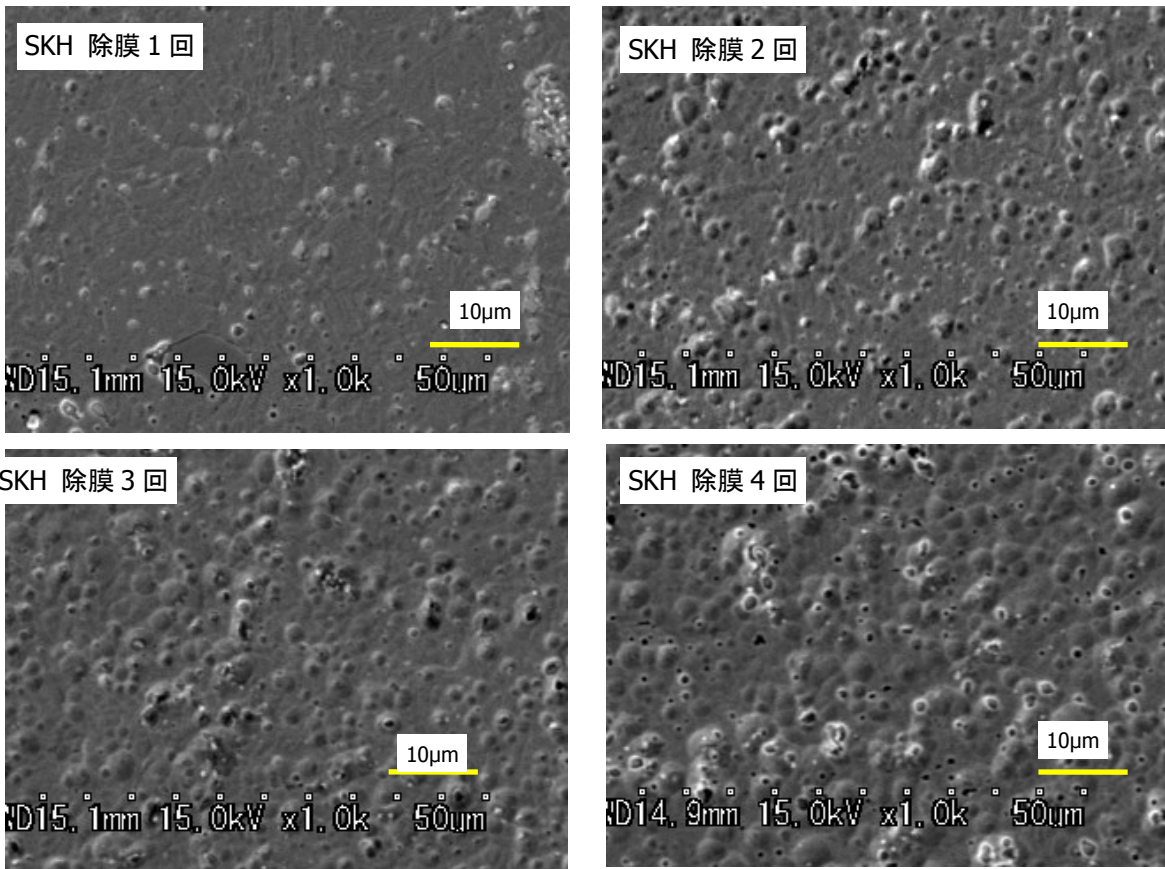


図 2-3-20 TiN 除膜処理した SKH 材の SEM 画像

① 材と皮膜の密着力

除膜を複数回行った基材に TiN 皮膜をコーティングし、そのときの皮膜と基材の密着性をスクラッチテストで評価した。除膜回数とスクラッチ試験による臨界荷重(Lc)値の関係を図 2-3-21 に示す。

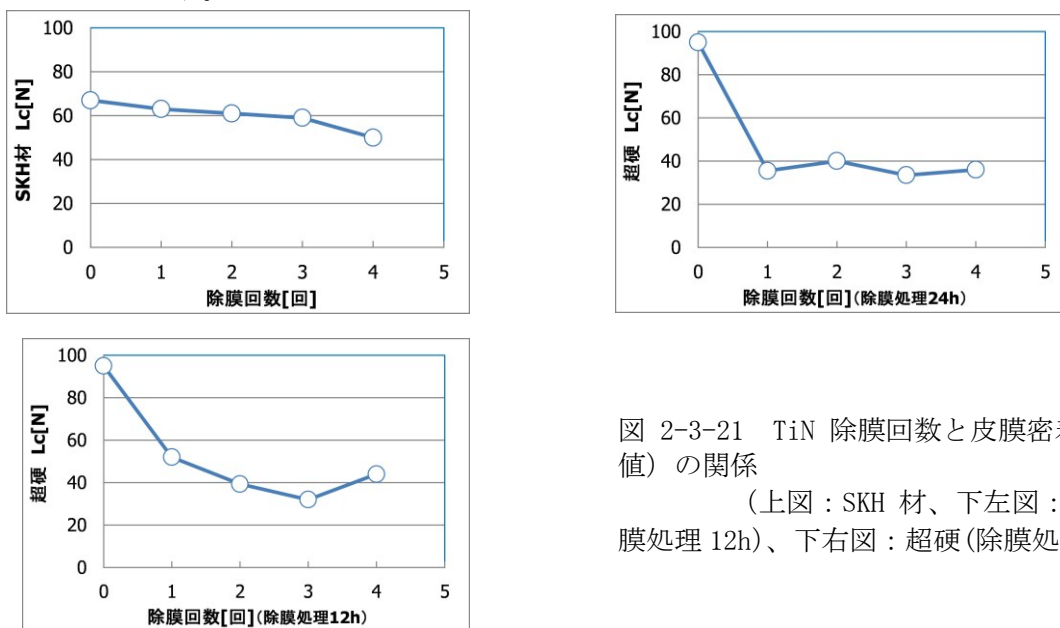


図 2-3-21 TiN 除膜回数と皮膜密着力 (Lc 値) の関係

(上図：SKH 材、下左図：超硬(除膜処理 12h)、下右図：超硬(除膜処理 12h))

SKH 材では除膜処理回数が増すと緩やかに Lc 値が低下した。超硬では、除膜による Lc 値低

下の影響が顕著であった。ここで、表面粗さ Rz と Lc 値の関係を図 2-3-22 に示す。

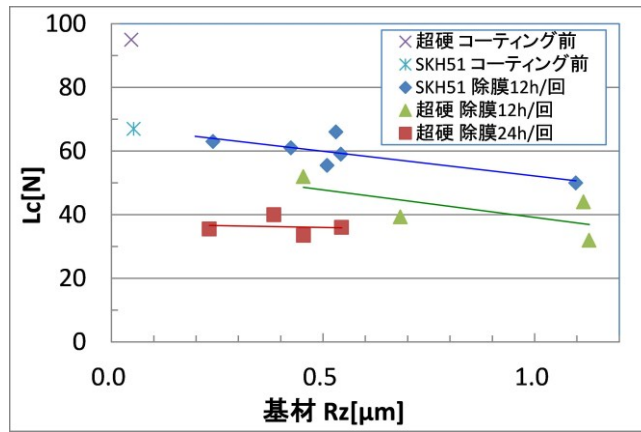


図 2-3-22 TiN 基材 Rz と皮膜密着力 (Lc 値) の関係

一般に密着性と表面粗さは関連が強いとされており、上図の結果はそれに従う傾向が確認されたが、一方で特に超硬については除膜処理による特定成分 (コバルト) の溶出と基材表面の脆化が密着力低下に大きく影響していると推測された。そこで、除膜処置した超硬基材の表面を機械的に精密研磨 (ラップ) 処理をしてからコーティングを行い、ラップ処理の効果を確認してみた。

ラップ処理は東洋研磨材工業 (株) 製ブラスト装置 SMAP-Ⅱ を使い、1 μm 以下の特殊砥粒を含むメディア (SP-100D) を試験片 1 個につき 10 分間噴射して行った。このときの表面粗さと密着力について図 2-3-15 に示す。ラップ処理により、表面粗さは Rz0.2 μm 程度に改善され、Lc 値も改善する傾向が確認できた。

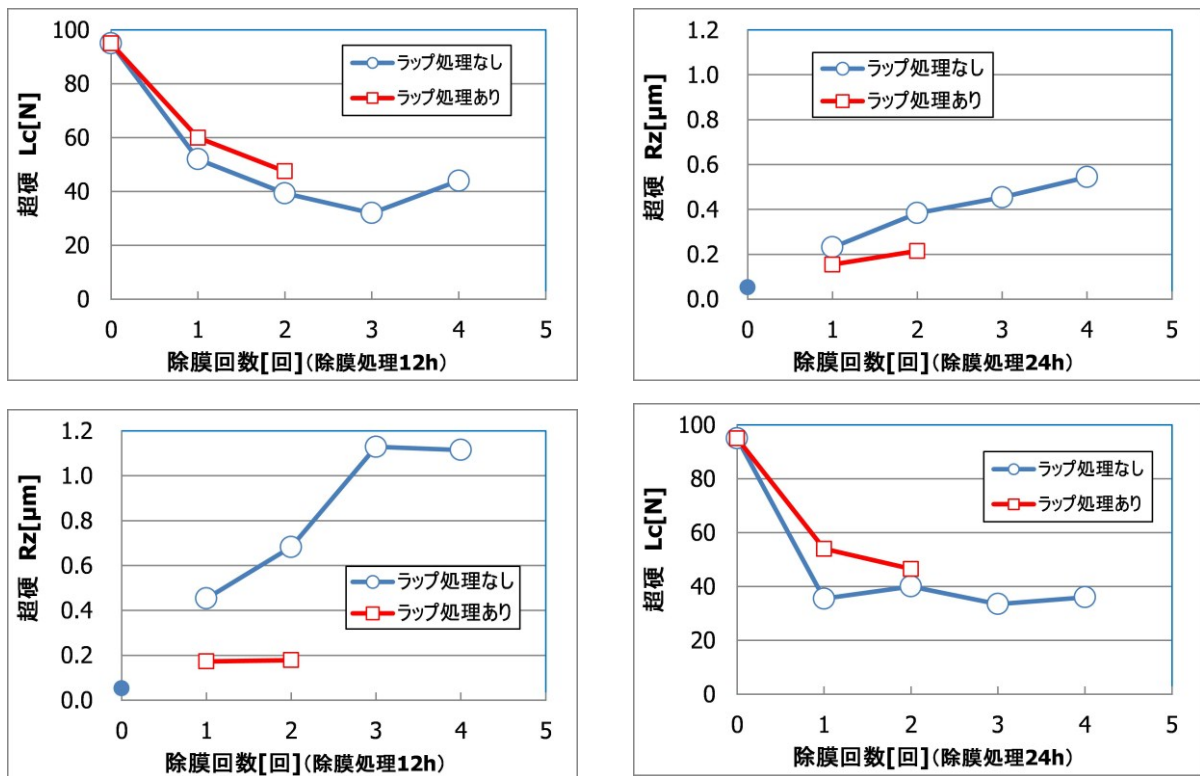


図 2-3-23 TiN ラップ処理の効果

4. 2 4 年度実施 CrN 除膜による基材への影響調査

今年度は、窒化クロム膜の除膜について、除膜液として購入が可能な薬品を利用して、金型材料である高速度工具鋼 (SKH51) 上で除膜したときの基材への影響を把握することとした。

1) 試験方法

①試験片

SKH51 (HRC63、調質済み) を材質とする $\phi 25\text{mm} \times t10\text{mm}$ の形状のものに鏡面研磨加工を施した基材を用意した。これに CrN 皮膜 (膜厚約 $4\mu\text{m}$) をコーティングして試験に供試した。なお、成膜には (株) 不二越製イオンプレーティング装置 SS-2-8SP を用いた。

②除膜処理

除膜液には日本表面化学(株)製「(商品名) 6 K 1 2 0」を用い、指定の処方条件にて除膜処理を行った。

③評価方法

除膜処理した試験片は、基材の表面粗さ、硬度、表面組成、成膜 (再生) したときの基材と膜の密着力を測定した。

表面粗さの測定は (株) テーラーホブソン製表面形状粗さ測定機 PGI-Plus を用いて表面粗さ R_z を測定した。硬度の測定は (株) アカシ製ビッカース硬さ計 AAV-4 を用いてビッカース硬さを測定した。表面組成は (株) 日立ハイテクノロジーズ製走査型電子顕微鏡 S-3500H に付属のエネルギー分散型 X 線分析装置 (SEM-EDS) (株) 堀場製作所製 EMAX 7490-H を用いて加速電圧 10kV で分析定量した。基材と膜の密着性評価には CSM 社製スクラッチテスタ REVETEST を用いて、窒化クロム膜約 $4\mu\text{m}$ を成膜した試験片について、皮膜中に進展するクラックや界面での剥離をアコースティックエミッションセンサによって膜の破壊音が検知された荷重 (= 臨界荷重) を測定した。

2) 試験結果

①基材の表面粗さ

成膜→除膜→成膜→除膜を繰り返したときの影響を調査した。除膜による表面粗さの変化を図 2-3-24 に示す。

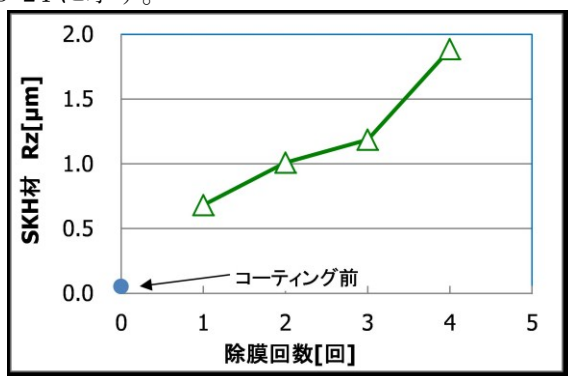


図 2-3-24 CrN 除膜回数が表面粗さに及ぼす影響

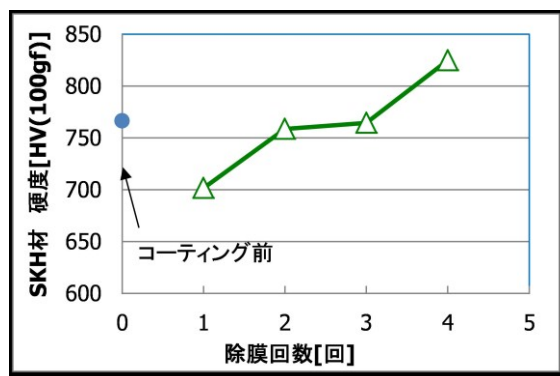


図 2-3-25 CrN 除膜回数が基材硬度に及ぼす影響

除膜処理回数が増すことで R_z は大きくなり、表面粗さは悪化する傾向が見られた。除膜後の SEM 画像を図 2-3-25 に示す。除膜によって表面の炭化物が孔状に溶出している状況が観察された。また、除膜回数が増すにつれて表面に径 $2\sim 5\mu\text{m}$ 程度の半球状の凹みが目立つようになった。この半球状のくぼみは、①除膜による基材成分の溶出、②成膜時の粒子の衝突 (コーティング工程の反応生成物の衝突やアルゴンボンバードメント工程におけるアルゴンの衝突) の影響がそれぞれ考えられる。

②材表面の組成、硬さ

除膜を行った後の基材表面の硬さを図 2-3-26 に示す。1 回目の除膜で硬度が一旦低下し、除膜回数が増すにつれて硬度が上昇する傾向が見られた。硬度低下の原因については、SEM 観察から、表面に形成された炭化物が 1 回目の除膜で溶出してしまったためと推測される。また、除膜 2 回目以降、硬度が上昇する傾向が見られたことについては、半球状のくぼみが目立つ現象と関連していると考えられ、比較的軟らかい基材マトリックス成分が表面から減少したために、結果として表面硬度を高く示したことをビッカース圧痕形状から推測された。除膜後の表面組成を SEM-EDS で定量分析した結果を図 2-3-27 に示す。高速度工具鋼に含まれる合金成分について定量結果を比較したところ、除膜によってタングステン、モリブデン、バナジウムの含有率が減少していた。SEM 画像で観察された炭化物溶出の状況を示すものである。

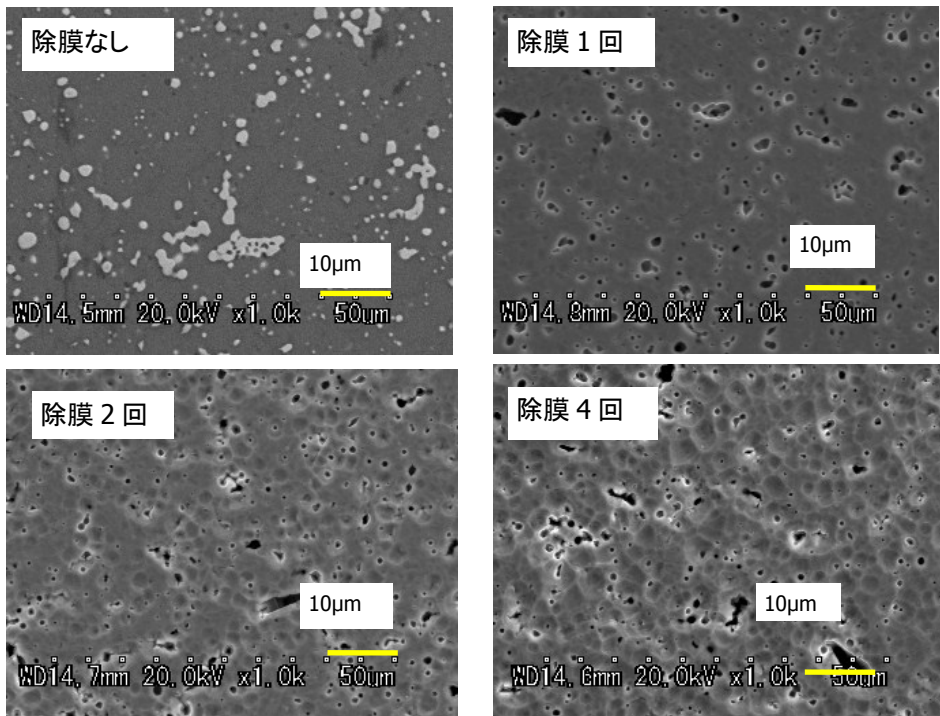


図 2-3-26 CrN 除膜処理した基材表面の SEM 画像

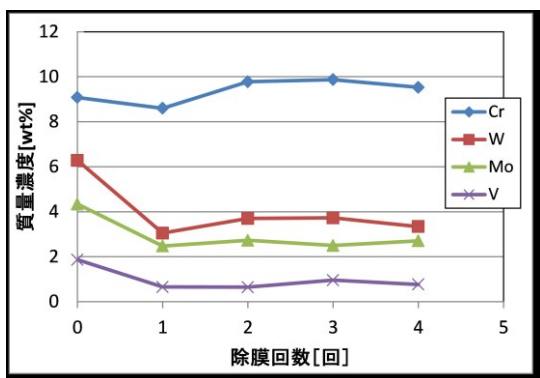


図 2-3-27 CrN 基材表面の合金成分含有率定量結果

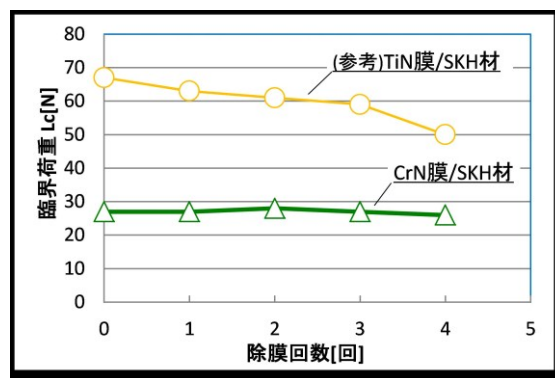


図 2-3-28 CrN 除膜回数と皮膜密着力 (Lc 値) の関係

③材と皮膜の密着力

除膜処理を行った基材に CrN 皮膜をコーティングし、そのときの皮膜と基材の密着性をスクラッチテストで評価した。除膜回数とスクラッチ試験による臨界荷重(Lc)値の関係を図 2-3-28 に示す。

CrN 膜は除膜回数が増えても Lc 値に大きな変化は見られなかった。昨年度調査した TiN 膜では除膜回数が増すと Lc 値が低下する傾向が見られたが、CrN 膜では顕著な悪化は特に見られず、表面粗さ等にあまり影響を受けずに除膜再生が可能であることがわかった。

3) 除膜による基材への影響調査

今年度は、窒化クロム膜の除膜について、除膜液として購入が可能な薬品を利用して、金型材料である高速度工具鋼 (SKH51) 上で除膜したときの基材への影響を把握することとした。

4) 試験方法

①試験片

SKH51 (HRC63、調質済み) を材質とする φ 25mm×t10mm の形状のものに鏡面研磨加工を施した基材を用意した。これに CrN 皮膜 (膜厚約 4µm) をコーティングして試験に供試した。なお、成膜には (株) 不二越製イオンプレーティング装置 SS-2-8SP を用いた。

②除膜処理

除膜液には日本表面化学(株)製「(商品名) 6 K 1 2 0」を用い、指定の処方条件にて除膜

処理を行った。

③評価方法

除膜処理した試験片は、基材の表面粗さ、硬度、表面組成、成膜（再生）したときの基材と膜の密着力を測定した。

表面粗さの測定は（株）テーラーホブソン製表面形状粗さ測定機 PGI-Plus を用いて表面粗さ Rz を測定した。硬度の測定は（株）アカシ製ビッカース硬さ計 AAV-4 を用いてビッカース硬さを測定した。表面組成は（株）日立ハイテクノロジーズ製走査型電子顕微鏡 S-3500H に付属のエネルギー分散型 X 線分析装置（SEM-EDS）（株）堀場製作所製 EMAX 7490-H を用いて加速電圧 10kV で分析定量した。基材と膜の密着性評価には CSM 社製スクラッチテスト REVETEST を用いて、窒化クロム膜約 4 μ m を成膜した試験片について、皮膜中に進展するクラックや界面での剥離をアコースティックエミッションセンサによって膜の破壊音が検知された荷重（＝臨界荷重）を測定した。

5) 試験結果

①基材の表面粗さ

成膜→除膜→成膜→除膜を繰り返したときの影響を調査した。除膜による表面粗さの変化を図 2-3-29 に示す。除膜処理回数が増すことで Rz は大きくなり、表面粗さは悪化する傾向が見られた。除膜後の SEM 画像を図 2-3-31 に示す。除膜によって表面の炭化物が孔状に溶出している状況が観察された。また、除膜回数が増すにつれて表面に径 2～5 μ m 程度の半球状の凹みが目立つようになった。この半球状のくぼみは、①除膜による基材成分の溶出、②成膜時の粒子の衝突（コーティング工程の反応生成物の衝突やアルゴンボンバードメント工程におけるアルゴンの衝突）の影響がそれぞれ考えられる。

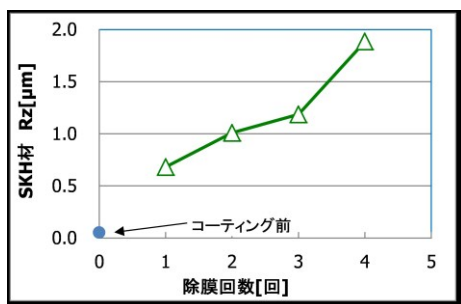


図 2-3-29
CrN 除膜回数が表面粗さに及ぼす影響

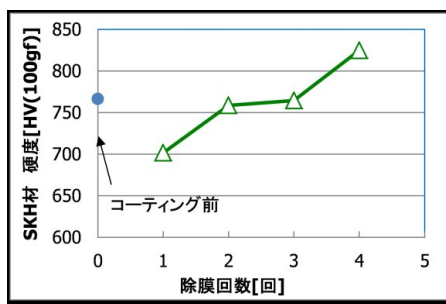
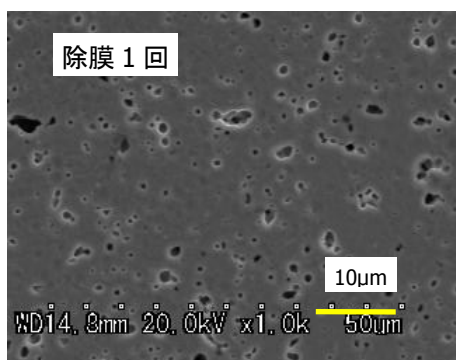
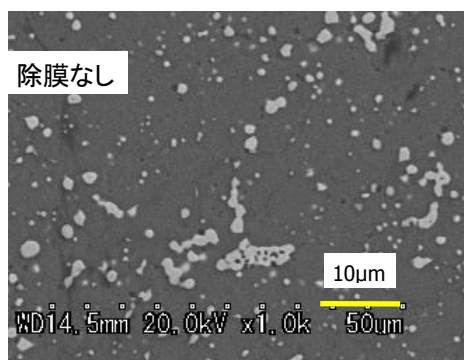


図 2-3-30 CrN 除膜回数が基材硬度に及ぼす影響



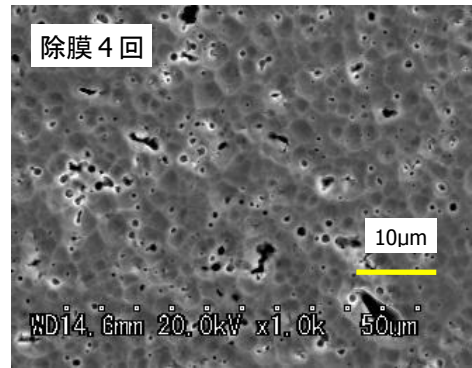
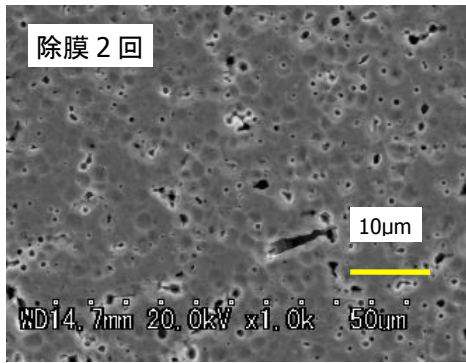


図 2-3-31 CrN 除膜処理した基材表面の SEM 画像

②材表面の組成、硬さ

除膜を行った後の基材表面の硬さを図 2-3-30 に示す。1 回目の除膜で硬度が一旦低下し、除膜回数が増すにつれて硬度が上昇する傾向が見られた。硬度低下の原因については、SEM 観察から、表面に形成された炭化物が 1 回目の除膜で溶出してしまったためと推測される。また、除膜 2 回目以降、硬度が上昇する傾向が見られたことについては、半球状のくぼみが目立つ現象と関連していると考えられ、比較的軟らかい基材マトリックス成分が表面から減少したために、結果として表面硬度を高く示したことをビッカース圧痕形状から推測された。除膜後の表面組成を SEM-EDS で定量分析した結果を図 2-3-32 に示す。高速度工具鋼に含まれる合金成分について定量結果を比較したところ、除膜によってタングステン、モリブデン、バナジウムの含有率が減少していた。SEM 画像で観察された炭化物溶出の状況を示すものである。

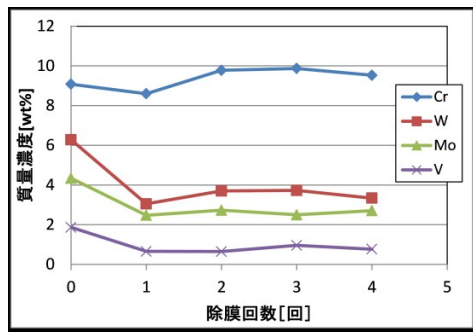


図 2-3-32 CrN 基材表面の合金成分含有率定量結果

③材と皮膜の密着力

除膜処理を行った基材に CrN 皮膜をコーティングし、そのときの皮膜と基材の密着性をスクラッチテストで評価した。除膜回数とスクラッチ試験による臨界荷重(Lc)値の関係を図 2-3-5 に示す。

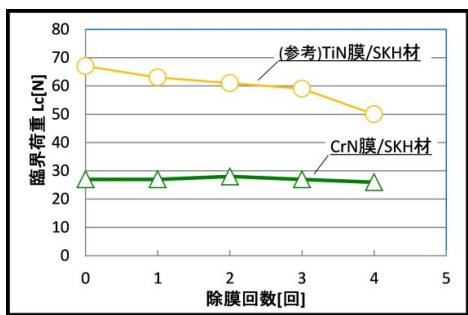


図 2-3-33 CrN 除膜回数と皮膜密着力 (Lc 値) の関係

CrN 膜は除膜回数が増えても Lc 値に大きな変化は見られなかった。2 3 度調査した TiN 膜では除膜回数が増すと Lc 値が低下する傾向が見られたが、CrN 膜では顕著な悪化は特に見ら

れず、表面粗さ等にあまり影響を受けずに除膜再生が可能であることがわかった。

(2) 微細歯車形状品の加工実証試験

1. 22年度実施

22年度は、モジュール0.5、先端R0.15の微細歯形形状のプレス加工を行うための金型製作を行った。製作したものはモジュール0.5の平歯車であり、製品の板厚は5mmである。歯車の厚み方向精度は不十分であったが歯車形状は規格を満足したものであった。



標準平歯車	
歯数	60
モジュール	0.5
圧力角	20deg
ピッチ円直径	30mm
歯先円直径	31mm
またぎ歯数	7
またぎ歯厚	10.015
精度等級	N6

図 2-3-34 試作した歯車形状製品

2. 23年度実施

モジュール1、先端R0.15mmの微細な歯車形状製品 (t4mm以上) をプレス加工するための金型を製作し、実機を使って実証試験を行った。

1) 金型製作

材質 ASP60 (粉末高速度工具鋼) を用いて、図 2-3-16 に示すパンチ金型を製作した。このパンチに窒化処理を施してから、VC あるいは TiCN をイオンプレーティングによりコーティングして実証試験用として供試した。この膜種選定は、前述 (1) の検討結果を踏まえて、VC 膜は耐焼付性に優れていたこと、TiCN 膜は寺方工作所において過去に使用実績の多い膜であることによる。



図 2-3-35 製作したパンチ

2) 加工条件

被加工材には板厚 4.5mm の SCM435 材を使用した。潤滑油は、前述 (1) の検討結果を踏まえて、油① (EH7320) と油③ (FB689) を選定し供試した。なお、金型の寿命についての判断は、被加工材 (製品) の端面部分の表面粗さ Ra が $0.4\mu\text{m}$ 以上の水準になったときに寿命とみなした。

3) 加工結果 (パンチ寿命評価)

ショット数と製品端面の表面粗さの関係を図 2-3-17 に示す。油①は VC 膜、TiCN 膜ともに約 7 万ショットで寿命に至った。一方、油③は 9 万ショットでもまだ寿命に至っていない。今回の試験では、用意した被加工材がその時点でなくなり、試験は一旦終了とした。油③を使用する場合は、ここまでの結果を外挿すると 10 万ショット以上でも十分に使用可能と推測され、特に VC 膜は 20 万ショット程度も期待される状況である。

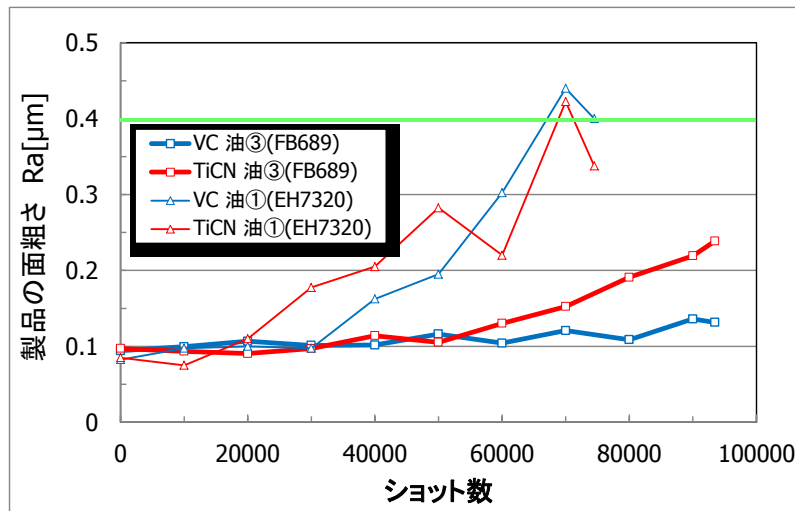


図 2-3-36 実機での試験結果 (ショット数と製品端面 Ra の関係)

3. 24年度実施

23年度に製作したモジュール 1、先端 R0.15mm のを製作使って、実機を使って実証試験を行った。

1) 金型条件

材質 ASP60 (粉末高速度工具鋼) のパンチを除膜後、コーティング前に約 50 μm の窒化処理を施した。コーティングでは最表面が VC 膜、あるいは TiCN 膜となるようにイオンプレーティングにより 2 種類のパンチを実証試験用として用意した。膜種選定は、昨年度までの検討結果を踏まえて、VC 膜は耐焼付性に優れていたこと、TiCN 膜は寺方工作所においてこれまでに使用実績の多い膜であることによる。なお、VC 膜は、密着力を確保するために、VC 膜の下地層として、素地界面に TiN 層、その上に TiCN となる傾斜組成膜を形成させ、最表面に VC 膜を形成、成膜した。

2) 加工条件

①被加工材

23年度は SCM435 (クロムモリブデン鋼) 板厚 4.5 mm を使用したが、24年度は S45C (機械構造用炭素鋼) の板厚 3.3 mm を使用する。表 2-3-1 にて、両被加工材の化学成分を比較する。S45C が SCM435 に比べ C (炭素) 量が多い。炭素量により素材の機械的性質は変化 (一般的に炭素量が増すと素材は硬く強くなる。) するが、炭素量が増えることはプレス加工にとって厳しい条件 (被加工材が、金型パンチ刃先に及ぼす影響) となる。

材料記号	C	Si	Mn	P	S
SCM435	0.33~0.38	0.15~0.35	0.60~0.90	0.030 以下	0.030 以下
S45C	0.42~0.48	0.15~0.35	0.60~0.90	0.030 以下	0.035 以下

表 2-3-6 SCM435 と S45C の化学成分 (代表値)

②潤滑油

EH-7320 (非塩素プレス工作油) を使用する。EH-7320 は前年度も使用している潤滑油で、日本工作油製の非塩素系油剤として、耐焼付き性、耐カジリ性に優れた潤滑油として市販され、プレス加工用として現場での利用実績の多い潤滑油の一つである。表 2-3-2 にデータシートを示す。

被加工材への潤滑油の塗布量は 8 ショット毎に 0.1cc/回、給油装置を用いて行い、塗布場所は歯車形状プレス加工ステージの前ステージとする。つまり、前項で説明したパンチ加工工程の前ステージでの塗布とする。

メーカー	動粘度(40°)	密度	極圧剤
日本工作油	29.7	0.91	硫黄系

表 2-3-7 EH-7320 データシート

3) 検証内容

プレス加工品の面粗さ Ra (算術平均高さ) が 0.4 μm 以上の水準になったときに寿命とみ

なす。プレス加工品の歯車形状部の、せん断面の面粗さ測定と写真撮影及び、パンチの面粗さ測定と写真撮影を行ない、測定数値と外観にて変化量を検証する。

4) 試験結果

① プレス加工品の面粗さ(Ra)

プレス加工品の面粗さ測定位置は、歯車形状側面とし板厚方向にて3箇所(図2-3-8)とする。測定機器はミットヨ製の評価形面粗さ測定機(サーフテスト)SV-3100を使用した。TiCNコーティングパンチのプレス品は、17,000ショットから数値が上がり27,000ショット付近で、Ra0.4を越えた。

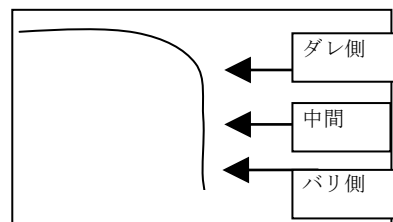


図 2-3-37 測定位置



図 2-3-38 SV-3100

VCコーティングパンチのプレス品は27,000ショットあたりから数値が上がり、40,000ショット付近で、Ra0.4を越えた。両者を比べてみると、VCコーティングパンチのプレス品の方が、TiCNコーティングパンチのプレス品よりもショット数が上回った。図2-3-10に測定位置3箇所の平均値面粗さの推移を示す。図2-3-11には各測定位置別の面粗さの推移を示す。

また、両プレス品の面粗さのグラフ推移をみると、VCコーティングパンチのプレス品は27,000ショットから数値が徐々に上がっていくのに比べ、TiCNコーティングパンチのプレス品は、17,000ショットを過ぎてからの数値の変化量が大きいことがみてとれる。VCコーティングパンチのプレス品のほうが、寿命を伸ばした。ただし、前年度は抜き始めの面粗さがRa0.1付近から始まっており、24年度は23年度に比べて使用前でのパンチの面粗さが荒かったと推測する。

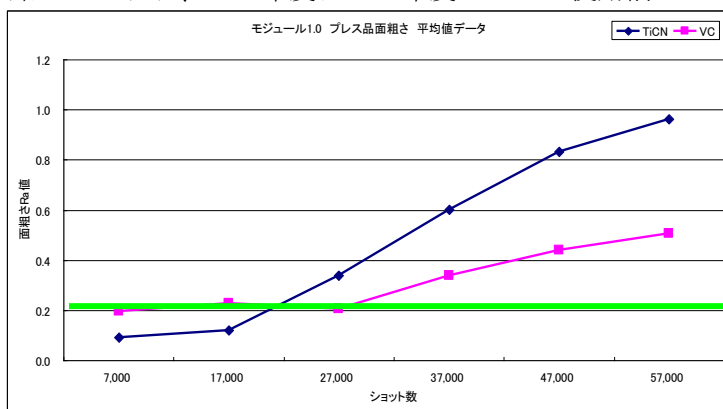


図 2-3-39 平均値結果 (ショット数とプレス品面粗さ Ra の関係)

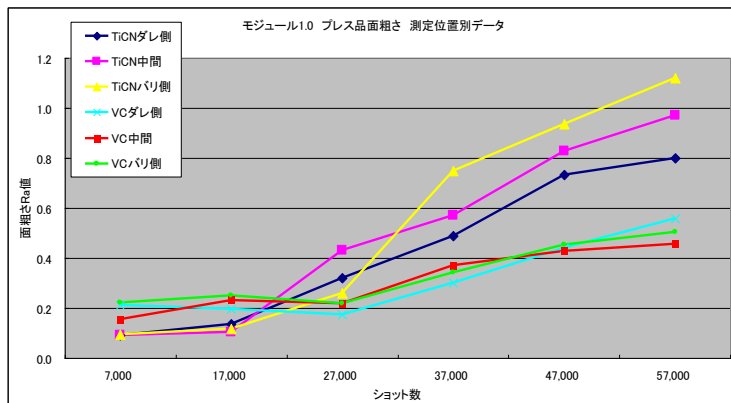


図 2-3-40 測定位置別結果 (ショット数とプレス品面粗さ Ra の関係)

②プレス加工品の写真撮影

プレス加工品の歯車形状部の写真撮影にはキーエンス製のマイクロスコープVHXを使用した。

図2-3-12にTiCNコーティングパンチ、図2-3-13にVCコーティングパンチの各プレス加工品歯車形状部のショット毎の写真を示す。写真を見ると、双方とも歯車形状の山側先端付近のR部と谷側からの両端から細かい縦筋が入り、ショット数が増すごとに全面が荒れていくのが見て取れる。



図 2-3-41 マイクロスコープ VHX

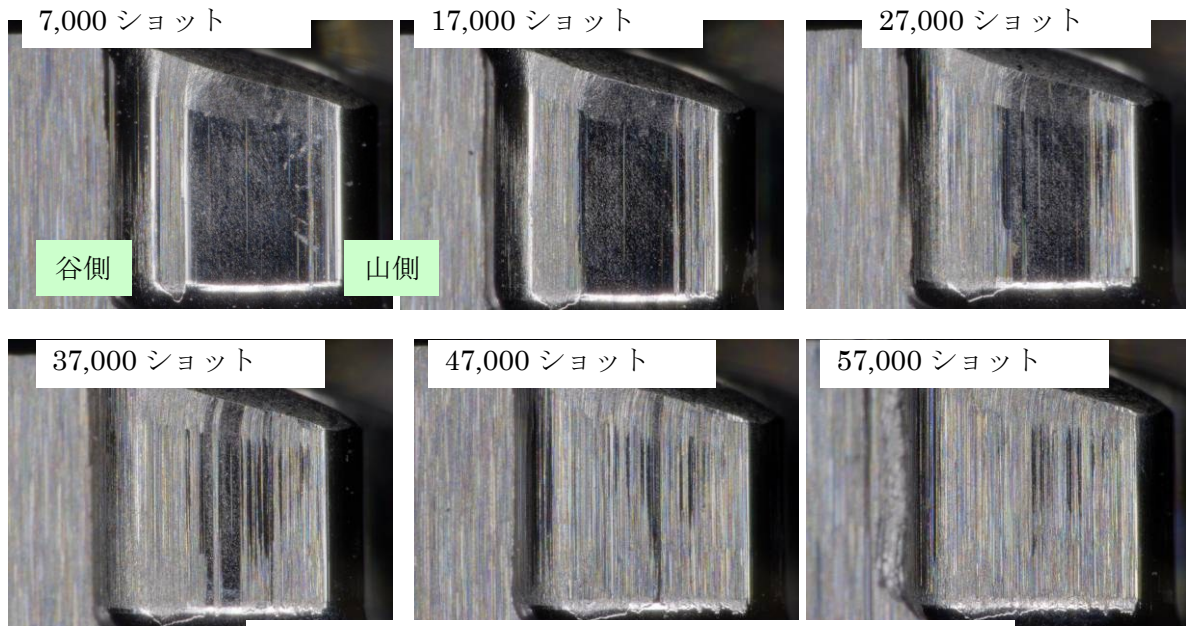


図 2-3-12 TiCN コーティングパンチのプレス加工品写真

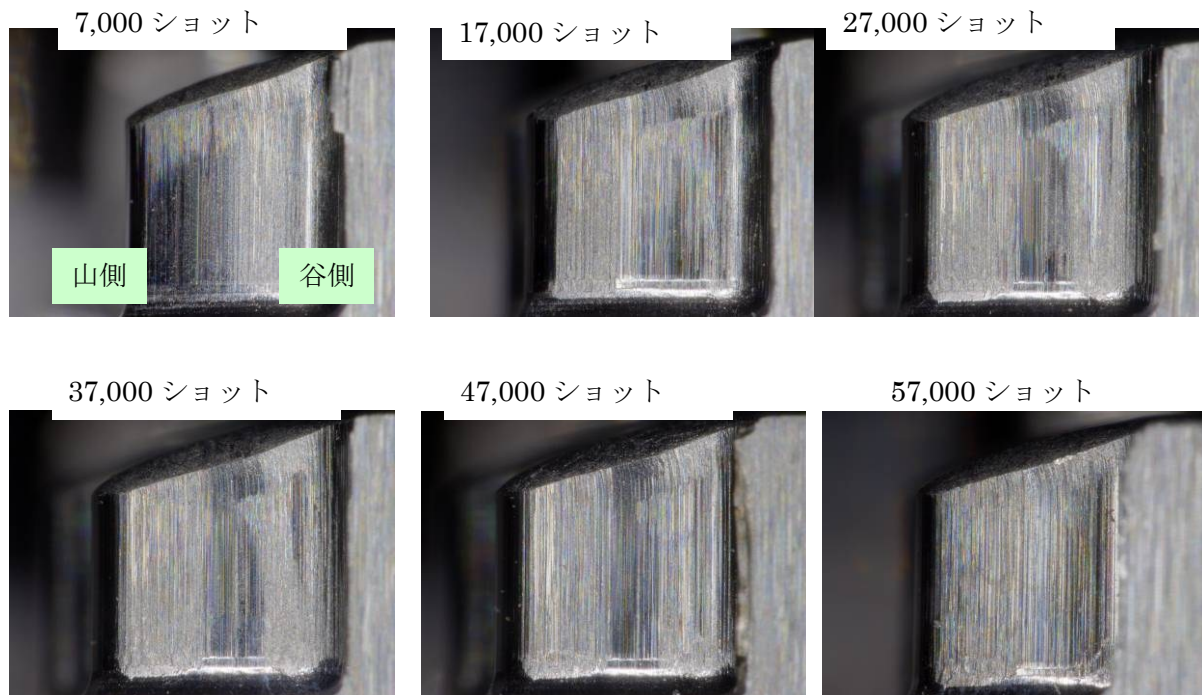


図 2-3-42 VC コーティングパンチのプレス加工品写真

③ パンチの面粗さ(Ra)

パンチの面粗さ測定に使用した、三鷹光器製の非接触輪郭形状測定装置 ML P-2 を図 2-3-14 に示す。

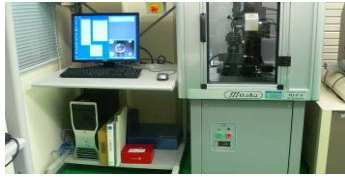


図 2-3-43 ML P-2

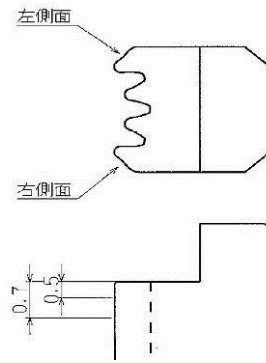


図 2-3-44 測定位置

測定位置を図 5-3-2 に示すように、パンチ刃先部の両側左右方向の、Z 方向-0.5mm と-0.7mm の 2 箇所、計 4 箇所を測定する。

TiCN コーティングパンチは、プレス前で Ra0.2~0.4 位から始まり、57,000 ショットでは Ra0.6 近くまで数値が上がった。図 2-3-16 に各測定位置の面粗さの推移を示す。

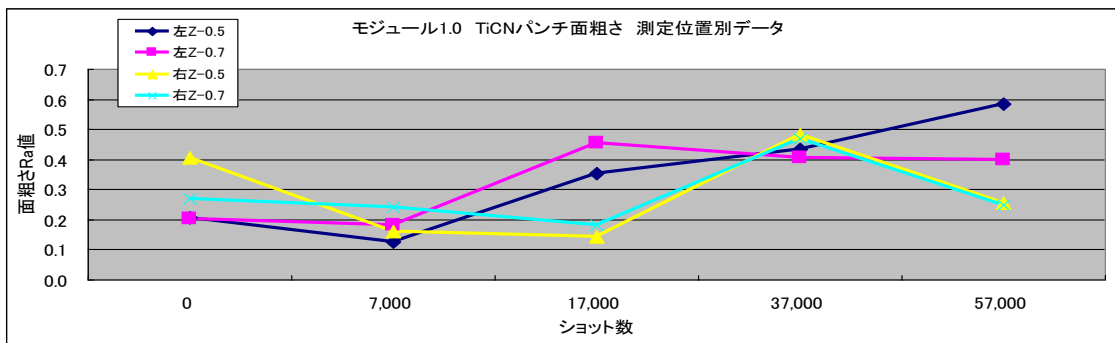


図 2-3-45 TiCN パンチ測定位置別結果 (ショット数とプレス品面粗さ Ra の関係)

VC コーティングパンチは、Ra0.45 位から始まり 35,000 ショット付近までは Ra0.4 から Ra0.5 の間を推移していたが、57,000 ショット後には Ra0.3 位の数値となった。図 2-3-17 に各測定位置の面粗さの推移を示す。図 2-3-18 では、4 箇所の平均値での、TiCN と VC パンチ面粗さの比較を示す。

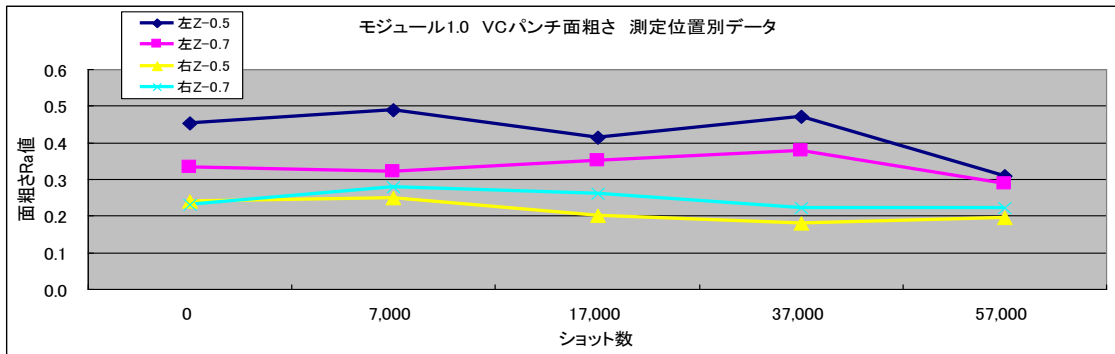


図 2-3-46 VC パンチ測定位置別結果 (ショット数とプレス品面粗さ Ra の関係)

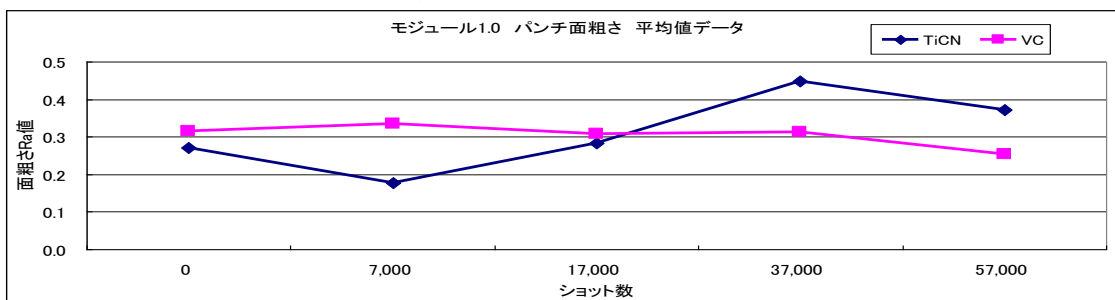


図 2-3-47 TiCN パンチと VC パンチの測定平均値での比較結果

TiCN コーティングパンチの写真を見ると、歯車先端R形状部からコーティングが剥がれストレート部以上にダメージを受けている事がわかる。また、VC コーティングパンチの写真を見ても歯車先端R形状部からコーティングが剥がれてきている事が確認でき、表面に細かい縦筋が入っている。この写真から初めに歯車先端R形状部からパンチ表面に縦筋状の傷が付き、コーティングが徐々に剥がれ、のちにパンチ全周のコーティングが剥がれ落ちていくことが推測できる。

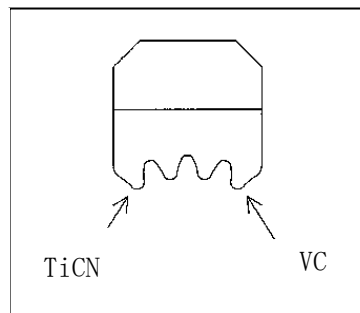
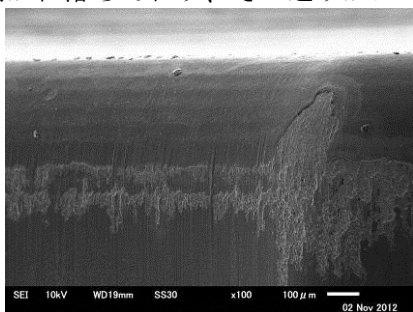
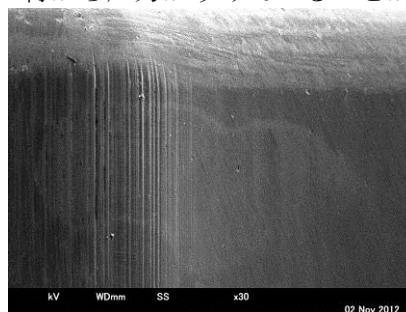


図 2-3-48 写真撮影方向

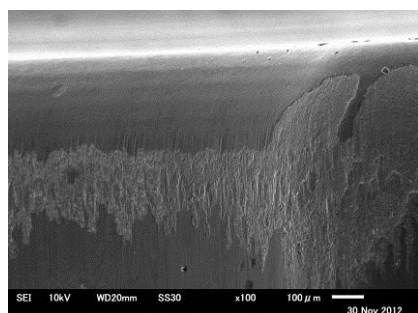
また、パンチ縦方向から見ると刃先R形状部とストレート部の境界辺りのコーティングが横筋状に剥がれ落ちており、その辺りがプレス加工時に被加工材から圧力がうけていることが推測される。



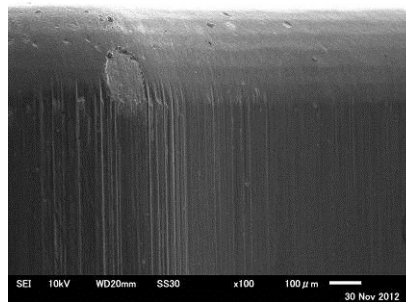
TiCN パンチ
37,000
ショット



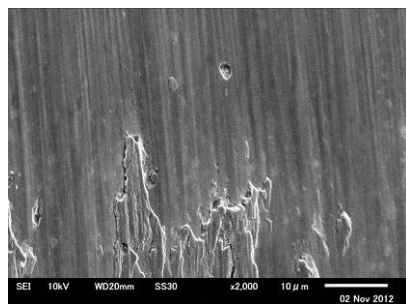
VC パンチ
37,000
ショット



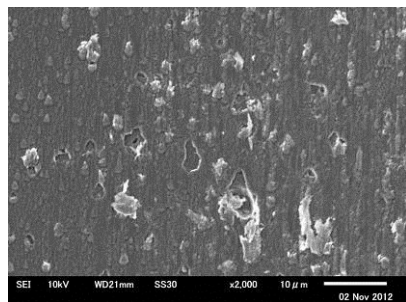
TiCN パンチ
57,000
ショット



VC パンチ
57,000
ショット



TiCN パンチ
被加工材の
溶着



VC パンチ
被加工材の
溶着

図 2-3-49 TiCN 及び VC コーティングパンチの写真

5) パンチの SEM 観察結果

VC 膜あるいは TiCN 膜を被覆したパンチ (57000 ショット後) の刃先を SEM で観察した。SEM 画像を図 2-3-21 に示す。図中の黄色い丸印で示す歯車形状の刃先先端部分で摩耗や膜のはく離等が起こっていた。VC 膜と TiCN 膜を比較すると、膜のはく離したと思われる色の変った部分 (SEM 像では周囲よりもやや白っぽく見える部分) が TiCN 膜のほうが大きい状況が確認できる。この部分を拡大観察して詳細に調査することとした。

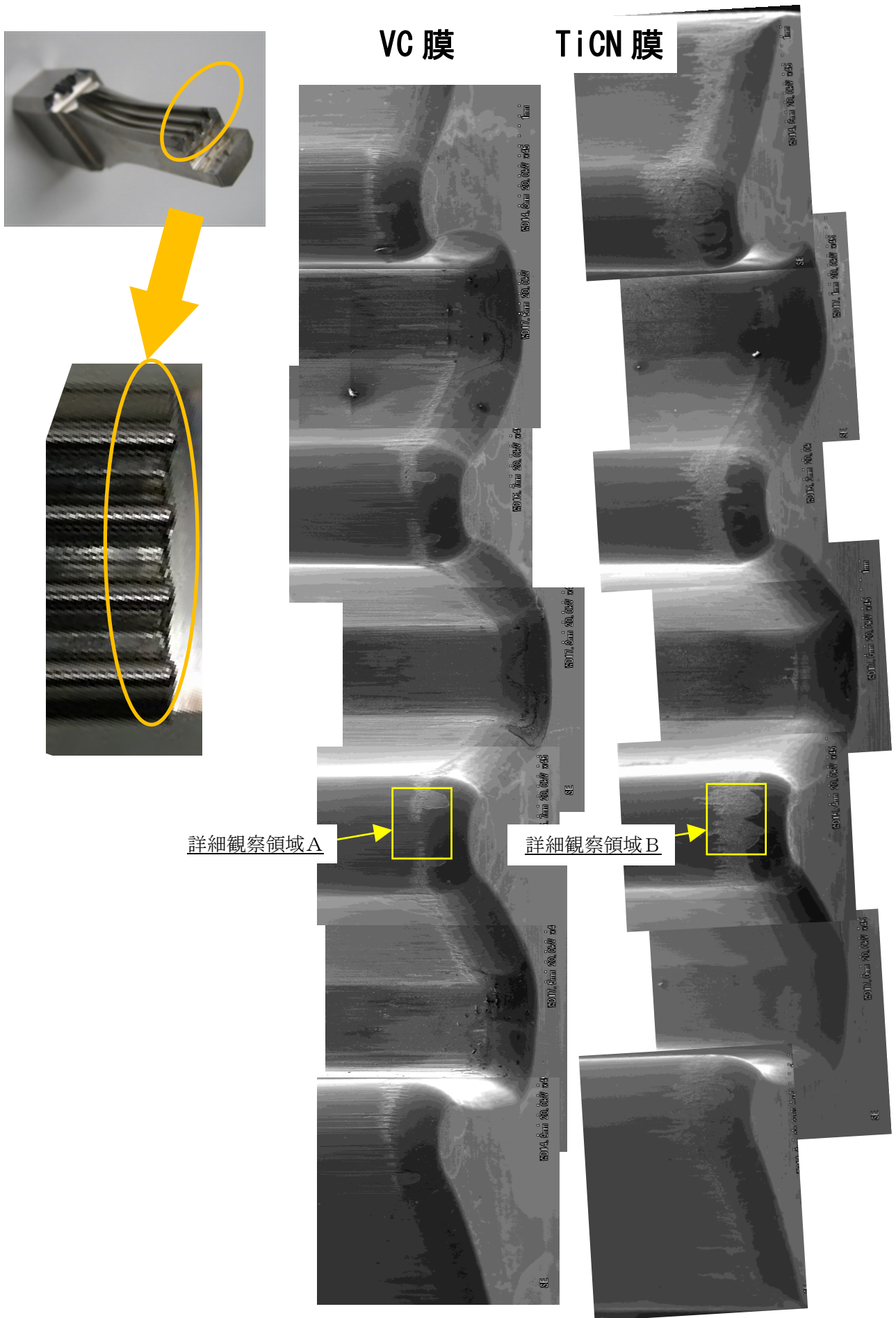


図 2-3-50 パンチ表面の SEM 像 (左 : VC 膜、右 : TiCN 膜)

a) 詳細観察領域Aについて

VCをコーティングしたパンチを詳細に観察した領域(詳細観察領域A)について、SEM-EDSによるマッピング結果を図2-3-22に示す。この領域Aでは鉄が検出される広い領域があり、像の中央から上部の領域ではバナジウム層が無くなってチタンが検出される領域が広く見られる。

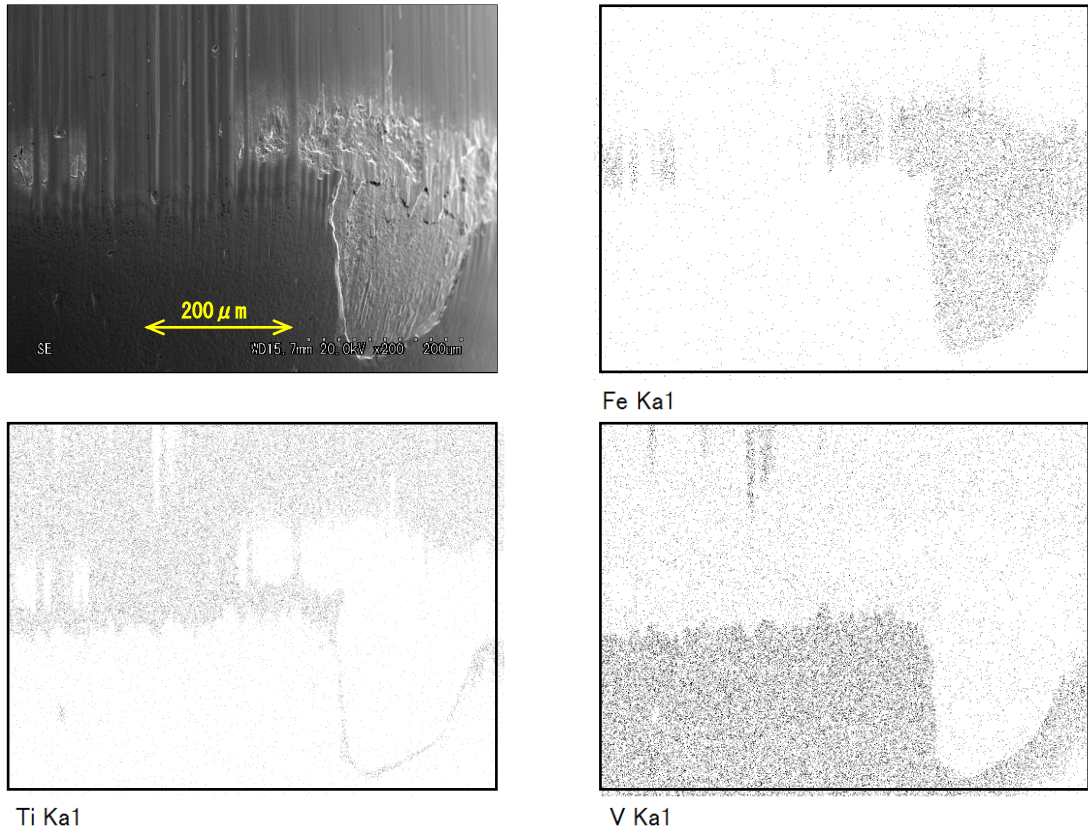


図2-3-51 SEM-EDSによる元素マッピング像(像が白→黒で検出された元素濃度 低→高)
 左上: SEM像 右上: 鉄
 左下: チタン 右下: バナジウム

鉄が検出された領域周辺について5箇所をポイントでEDS分析したところ、図2-3-23に示したようにVC膜の下地層であるTiCNが確認できる部分、皮膜が無く素地が見えている部分、被加工材の溶着の部分(合金成分を含まない鉄のみのピークが検出された部分)が確認された。

この状況からVC膜の摩耗状態として、皮膜は加工によって摩耗し、表層のVC膜も摩耗して下地層が見え、ついには素地が露出する状態になったと推測した。また、素地が露出した領域では被加工材が溶着しやすく、一部で被加工材の溶着が起きたものと推測した。

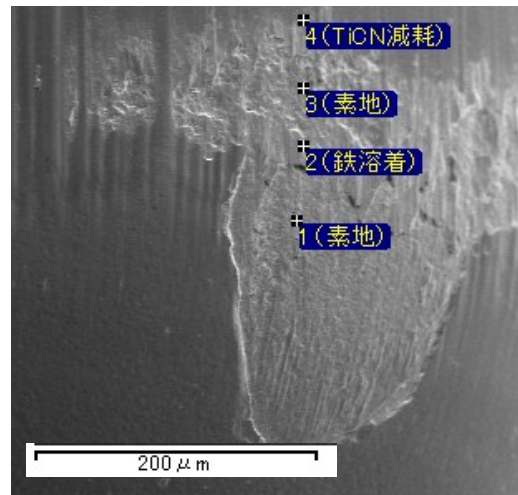


図2-3-52 SEM-EDSによる元素分析から想定するVCコーティングしたパンチの表面状態

領域A-1の観察結果を図2-3-24に示す。この領域ではVC膜、VC膜の下地であるTiCN層、素地、鉄が溶着している状況が観察された。

図2-3-24(2)に示すX線スペクトルから、ポイント1で得られたピークはバナジウムと炭素のみでありVC膜が、ポイント2ではバナジウムのピークは消え、チタンと窒素、炭素のピークからTiCN層が確認された。ポイント3は、鉄のピークが主であり、ごくわずかであるがタングステンやモリブデンが検出された。ポイント4では、鉄のほかタングステン、モリブデン、バナジウム等が検出された。これらは、ポイント3では素地に溶着した鉄（被加工材）、ポイント4は露出した素地（SKH材）と推測される。

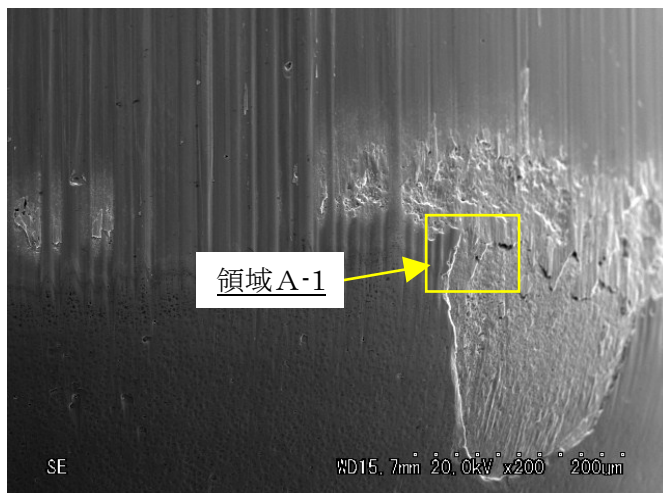


図2-3-53(1) VC膜 観察領域A-1

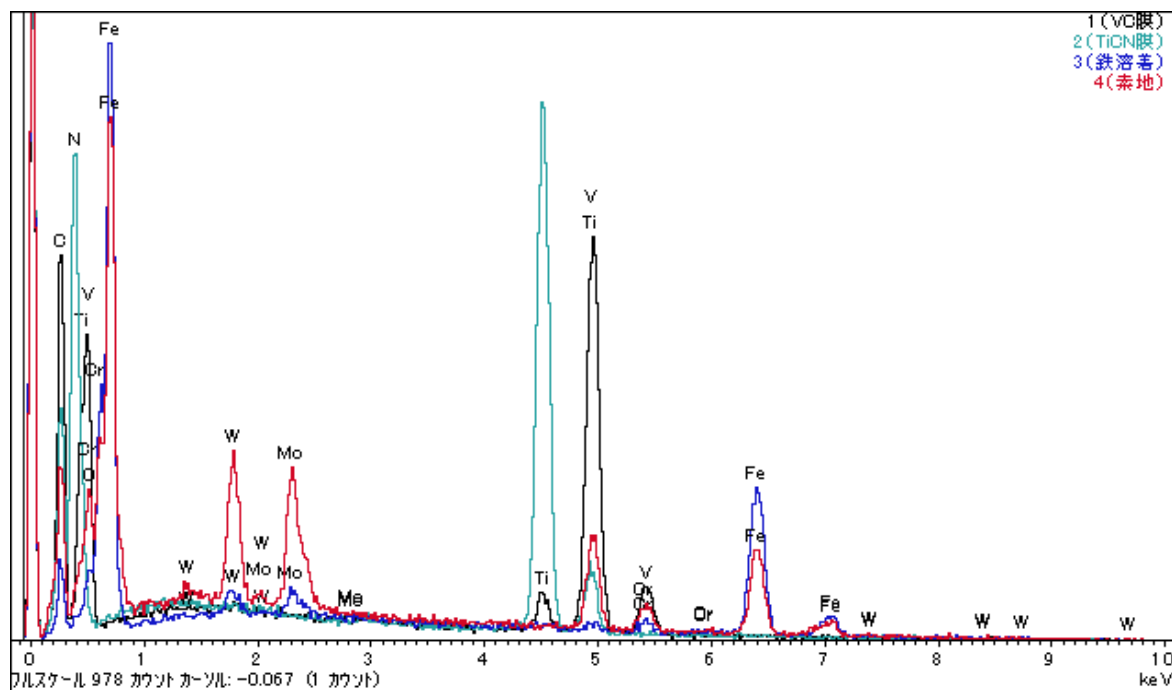
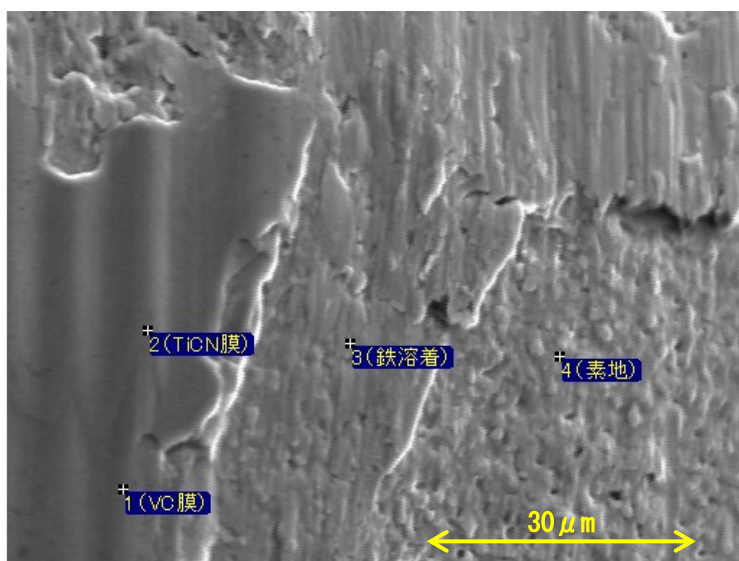


図2-3-53(2) VC膜 観察領域A-1のSEM像とX線スペクトル

b) 詳細観察領域Bについて

TiCN をコーティングしたパンチを詳細に観察した領域(詳細観察領域B)について、SEM-EDS によるマッピング結果を図 2-3-25 に示す。この領域Bでは像の中央部分で皮膜に由来するチタンが検出されず、鉄が検出される広い領域が確認された。

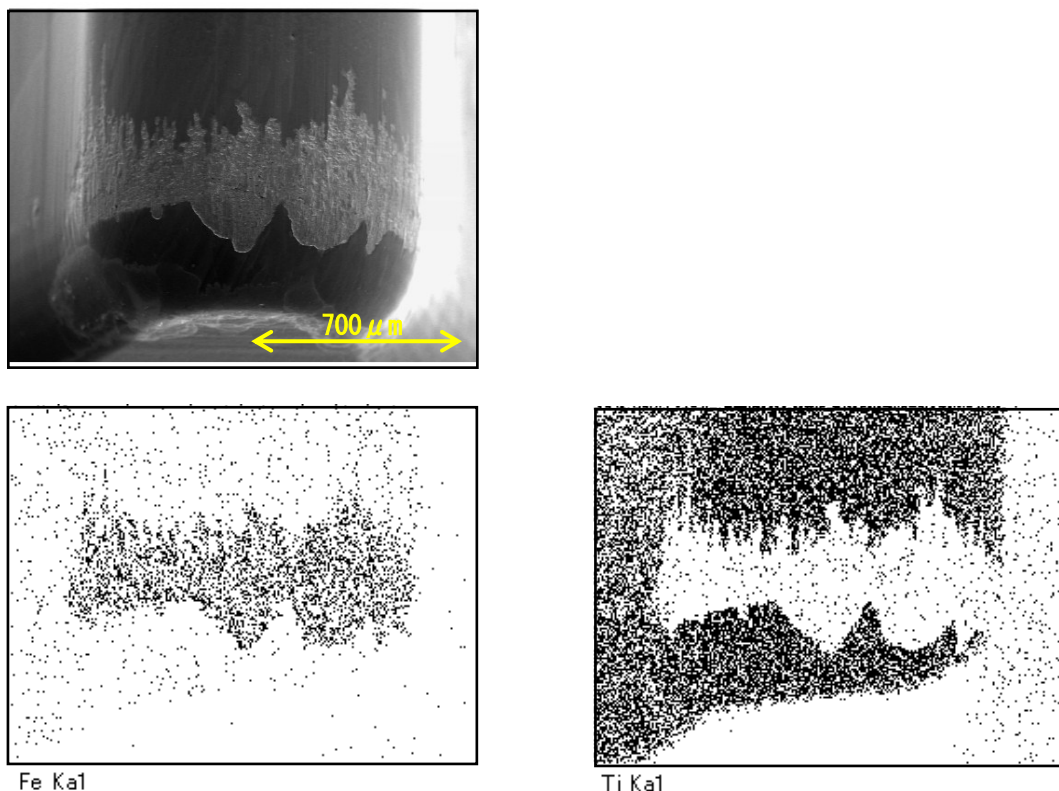


図 2-3-54 SEM-EDS による元素マッピング像 (像が白→黒で 元素濃度 低→高)
左上: SEM 像

鉄が検出された領域について、その周辺をポイントで EDS 分析を行ったところ、図 2-3-26 に示すように TiCN 膜、被加工材の溶着の部分(合金成分を含まない鉄のみのピークが検出された部分)が確認された。

この状況から、TiCN 膜も VC 膜と同様に皮膜の摩耗による減耗や被加工材の溶着が起こっている状況が想定される。

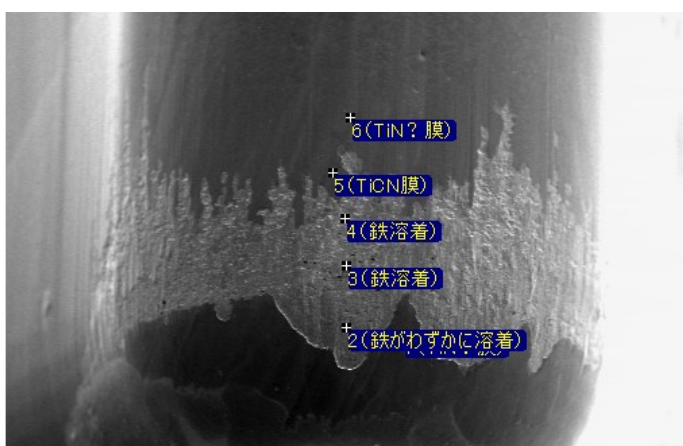


図 2-3-55 SEM-EDS による元素分析から想定する TiCN コーティングしたパンチ表面状態

領域B-1の観察データを図2-3-27に示す。

図2-3-27(2)に示すX線スペクトルから、ポイント分析で得られたピークは鉄が主成分であり、このほかにチタンのピークが検出された。これは、図中の×で示したポイントでは、チタン膜の上に被加工材が溶着している状況が推測される。

このような皮膜上への被加工材の溶着は、VCコーティングでは観察されていない。露出した素地は鉄系合金であり、鉄の被加工材が“ともがね”として溶着しやすいことは想像に難くないが、TiCN膜被覆ではVC膜と比べて溶着現象が生じやすい状況にあったと考えられる。

パンチに溶着した被加工材は、製品の寸法精度を悪化させるだけでなく、溶着した皮膜を引き剥がす要因になることも想定される。TiCN膜パンチで加工した製品はショット数増加によって端面粗さが悪化する傾向がVC膜パンチより早かったが、これはこのような被加工材の溶着現象との関連があるものと考えられる。VC膜パンチ表面はTiCN膜パンチに比べて膜が無くなっている領域が少なく、被加工材の溶着もわずかだったことは、VC膜の耐焼付き性が良好で、今回の加工条件に相当であったことを示すものと考えられる。

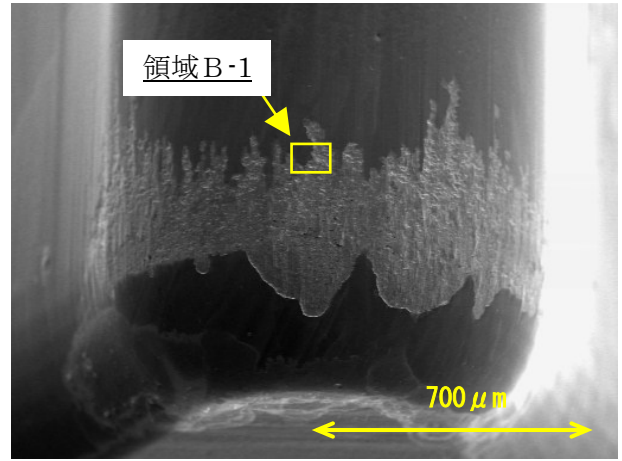


図2-3-56(1) TiCNコーティング 観察領域B-1

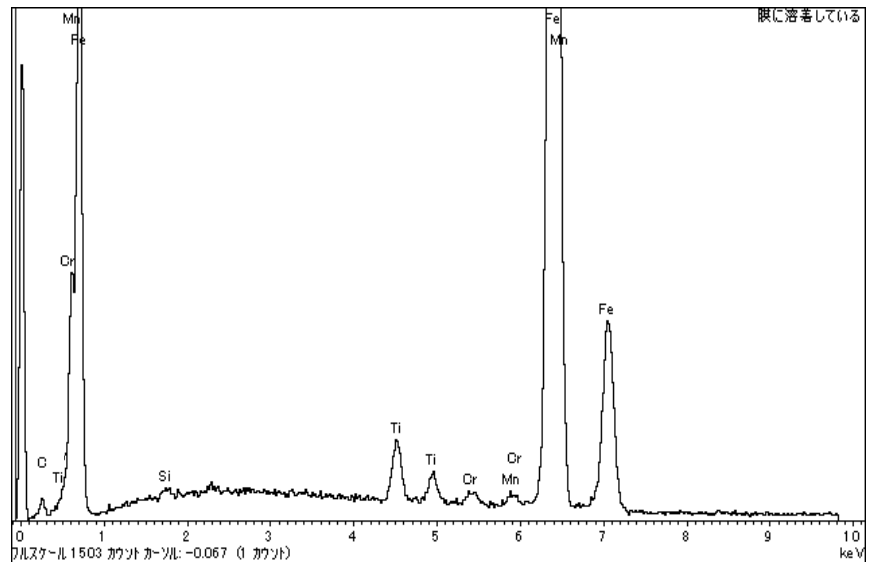
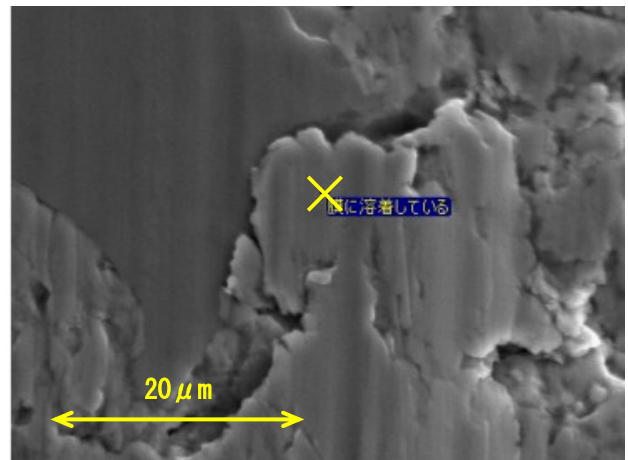


図2-3-56(2) TiCNコーティング 観察領域B-1
SEM像とX線スペクトル

VC 及び TiCN をコーティングしたパンチと油① (EH7320) の組合せで、被加工材 S45C (t3.3mm) に対し、モジュール 1、先端 R0.15mm の微細歯車形状品の加工実証試験を行った。結果、製品に破断面無く生産することが可能であり、TiCN 膜被覆では約 3 万ショット、VC 膜被覆では約 4 万ショットでパンチ寿命に至った。表面観察結果から、VC 膜被覆パンチは耐焼付き性に優れるために表面状態が良好で維持され、パンチ寿命も延びたものと推測された。また、これまで微細歯車形状品の加工事例では油① (EH7320) は高炭素鋼には推奨されておらず使用された実績がなかったが 57000 ショット打てたことは、従来に比べて金型部品の寿命 (及び金型破損までの寿命) 2 倍以上の効果であった。

2-4 プロジェクトの運営管理

(担当：財団法人鳥取県産業振興機構)

本研究開発の円滑な運営と推進を図るために、全体会議 (プロジェクト推進委員会) を定期的
に開催し、各研究機関相互の連絡体制を密にするとともに、各研究開発実施項目の課題抽出、検
討、研究推進を行った。プロジェクト推進委員会開催は次のとおりであった。

第 1 回推進委員会

開催日時 平成 24 年 8 月 1 日(水) 午後 2 時～5 時

場所 ホテルセントパレス倉吉

(〒689-0022 鳥取県倉吉市上井町 1 丁目 9-2)

第 2 回推進委員会

開催日時 平成 25 年 1 月 30 日(水) 午後 2 時～5 時

場所 倉吉シティホテル 会議室 (マーガレット)

(〒689-0023 鳥取県倉吉市山根 5 4 3-7)

最終章 全体総括

3-1 複数年の研究開発成果

本研究は、①材料歩留まりを向上させるための研究、②金型寿命向上と金型部品の品質向上
を目指した研究の 2 つのテーマに分かれる。①の研究はサブテーマ [1-1] 棒材、パイプ材を素材
として加工するための技術開発 [1-1-1] トランスファ化するための位置決め技術開発 [1-2] フレ
ーム接合技術の開発、②の研究はサブテーマ [2-1] 金型の品質教条を目指した 5 軸非接触測定器
の利用技術の確立 [2-2] 金型部品の寿命向上を目指した鍛造シミュレーションの利用技術の確
立 [3-1] 金型の耐久性を高めるためのコーティングおよび潤滑油の最適化技術開発であるが、①
は材料歩留まりの向上②は金型寿命向上をめざした。

(1) 材料歩留まりの向上

1) 棒材、パイプ材を素材にして加工するための技術開発

22 年度は、棒材・パイプ材は切断機等で切られるため切り取られた素材の厚みがバラつき、
切り口が斜め等のため板厚の差が 0.3mm 程度あり、切断面は 0.05mm 程度の凹凸がある。精
密鍛造の素材として使用できるように、平面度・平行度・面粗さを製品規格に合格させるため
の試験金型を製作して実証テストを行った。熱処理調質条件 (焼鈍) を実施しない場合は切断
時点での平行が 0.2 程度でありそれを縦断面係数の高い超硬を使用した金型で 1 mm 程度潰し
をおこなえば面粗さ Ra0.3 平面度 0.01 平行度 0.02 程度になることは確認できたが、成形工程
で製品側面に割れが発生した。そこで材料を焼鈍等の熱処理を実施すると切断機の刃のきれが
悪くなり切断時点での平行度が 0.5 程度になり潰し後の平面平行が確保できなくなった。

23 年度は切断前の棒状で行っていた焼鈍工程を切断してからの球状化焼鈍に変更して平面度
0.01 平行度 0.02 を確保したうえで製品側面に割れ等が発生しない熱処理調質条件 (球状化焼鈍)
の条件開発をおこなった。確認した内容は①潰し工程を入れることによって素材として平面・
平行の確保。②成形性と抜き性が両立。結果①②とも良好となり素材としての使用できるこ
とが確認できた。

2) トランスファ化するための位置決め技術の開発と材料有効利用率の確認

22 年度は、外形の形状の精度が厳しい要求のある製品「A」について各工程金型を製作しト
ランスファ装置で搬送を行う開発をおこなった。製品の外形に金型による傷がつかないように
ガイド及び金型形状等を工夫し、製品と金型との片側ギャップ 0.025 以下の隙間でも搬送不良
による削れ、ふくれ、打こんがない状態のものをトランスファ加工できた。

少し大きめで外形形状に精度の要求される製品「B」を 23 年度は位置決め技術の開発を行

い製品バラツキ 0.02 以下を達成した。24 年度は一部工程でのトランスファ装置による搬送試験を実施した。素材がパイプ材である製品「B」のパイプ材の素材としての利用技術の確認とトランスファ加工の精密位置決め技術の開発によって材料有効利用率 60%以上の目標達成が可能となった。特に切断方式の変更は潰し量が 1 mmから 0.3 mmに変更でき材料有効利用率 71%となり目標達成した。

3) フレーム接合技術の開発

22 年度は従来のダボカシメではなく、素材とフレームの切り欠き形状のはめ合いにより接合できる成形加工と接合の技術開発を行った。〔技術目標値〕フレーム板厚 0.6mm での接合に成功した。23 年度はフレーム接合方式は思ったより加締強度があったので、フレームの素材厚みを当初計画の 0.6 mmから 0.4 mmの使用に変更と加工材の取り方を送り切断方式にできる加締部の作成の工夫により材料有効率の向上が可能であることが確認できた。材料単価の高い材料のフレーム接合順送は材料歩留まりに有効な手段であり低コスト化への有力な技術であることが確認できた。24 年度は板厚のバラツキが大きいため外周アテが困難な単発製品の利用技術を確認しそれぞれ材料有効利用率の目標を達成した。

(2) 金型寿命向上

1) 5 軸非接触測定機の利用技術の確立

22 年度は、5 軸非接触測定機を導入して NC 加工機の高精度クランプ治具を測定機に乗せて追加工できるようにするという計画と、相互交換できる仕組みと位置決め精度の 0.005 以下という〔技術目標値〕に対して、位置決め精度検証作業を実施し、相互交換の位置決め精度が 0.001 であったことも検証した。

23 年度は一般に、従来の接触式測定機の場合、測定子が入らなくて測定できなかった金型と製品を 5 軸測定器で製品「A」の金型・製品だけでなく製品完成までの各工程の形状を測定した。23. 24 年度は 5 軸測定機だけでなく各種測定器から CAD に測定データを送り編集する手法の開発をした。また他の測定機でも測定機データを CAD でねらい形状との輪郭の差を縦横変倍で誇張して比較できるようになった。測定データを CAD で読み込めるようにパソコン（エクセル）で編集して点群データ化し、CAD 操作にて形状図として保管し、プレス生産中に生じた微小摩耗を確認検証した。

2) シミュレーションの利用技術の確立

22 年度は、破損事例のシミュレーションを実施し、技術目標値の破損事例とシミュレーションの応力の高い位置が一致することを確認した。23 年度は、社内破損事例の検証を数点実施して、応力の高い場所と破損の場所が一致する様に設定条件を見直していき板鍛造にシミュレーションが使えることを確認した。シミュレーションを実施し 10 倍以上寿命が伸びる事例があった。24 年度はシミュレーションの結果を金型狙い目図に使えることの確認と絞り加工でフランジ形状がシミュレーションと実際の差が小さくなる条件設定の確認ができた。

3) コーティング及び潤滑油の最適化技術の確立

22 年度は、使用実績の高い TiCN 皮膜および VC 皮膜を鳥取県産業技術センターの既存のイオンプレーティング装置で成膜し、摩擦摩耗試験による耐焼付性についての評価を実施した。

23 年度はイオンプレーティング法で成膜した 5 種の皮膜と、粘性等の異なる 3 種の潤滑油について、これらの相性をボールオンディスク法及びファレックス法の各摩擦試験によって評価した。耐焼付性の優れる組合せとしては、皮膜は VC 膜、潤滑油では油①(EH7320)と油③(FB689)の使用が優位となる結果が得られた。なお、ファレックス試験結果から、コーティング膜による耐焼付性改善効果は非常に大きいものの、コーティング膜種による性能の違い（優位差）はわずかであって、使用する潤滑油が結果に強く影響することがわかった。基材として超硬及び高速度工具鋼（SKH51）を使い、これに窒化チタン（TiN）をコーティングして、除膜液を使った化学的除膜法が基材の表面粗さ等に及ぼす影響を評価した。結果、SKH51 は除膜による表面損傷は少なく、複数回の再生も問題が少なかったが、超硬は除膜処理によるコバルトの溶出と基材表面の脆化で皮膜の密着性が極端に悪化することがわかった。また、除膜後の機械的なラップ処理によって密着性は改善可能であることも判明した。実機テストで VC 膜及び潤滑油 2 種を使用した実証試験を行い、油③（FB689）と VC 膜の組み合わせで 9 万ショット時点で Ra0.2 以下でどこまでいくかという期待をもたせる結果であった。平成 21 年度戦略的基盤技術高度化支援事業「表面改質技術の金型の高寿命」の打ち抜き実験 SCM415・厚み 3.3 mm・④窒化+TiCN+VC（産業技術センター）の条件下の 40000 ショットで Ra0.4 の結果からすると 2 倍以上の寿命向上と考えられる結果であった。23 年度は SCM435（クロムモリブデン鋼）板厚 4.5 mm を使用したが、24 年度はコーティングは同じ条件で S45C（機械構造用炭素鋼）の板厚 3.3 mm

を使用した。潤滑油は結果を早く出すため EH-7320（非塩素プレス工作油）を使用した。7000,17000,27000,37000,47000,57000 ショットでパンチと製品の面粗さを比較した。

3年間で得られた成果は次のとおり

<項目 a. 皮膜と潤滑油の相性評価 について>

イオンプレーティング法で成膜した5種の皮膜と、粘性等の異なる3種の潤滑油について、これらの相性をボールオンディスク法及びファレックス法の各摩擦試験によって評価した。耐焼付性の優れる組合せとしては、皮膜はVC膜、潤滑油では油①（EH7320）と油③（FB689）の使用が優位となる結果が得られた。なお、ファレックス試験結果から、コーティング膜による耐焼付性改善効果は非常に大きいものの、コーティング膜種による性能の違い（優位差）は比較的小さく、使用する潤滑油が結果に強く影響した。

<項目 b. 除膜による基材への影響 について>

基材に高速度工具鋼（SKH51）を用いて、窒化チタン（TiN）あるいは窒化クロム（CrN）をコーティングして、除膜液を使った化学的除膜法が基材の表面粗さ等に及ぼす影響を評価した。結果、SKH材では除膜による表面損傷の影響は比較的小さく、再生使用についても大きな支障なく除膜処理できることがわかった。また、超硬を基材として窒化チタン膜の除膜を検討したところ、コバルトの溶出と基材表面の脆化によって皮膜の密着性が極端に悪化した。除膜後の機械的なラップ処理が可能であれば密着性の悪化は抑制されることがわかった。

<項目 c. 微細歯車形状品の加工実証試験 について>

項目 a. の検討結果から選定した VC 膜と TiCN 膜、及び潤滑油を使用して実証試験を行った。パンチ寿命を評価した2回の結果では、厚さ4mm以上の材料に対しても製品に破断面無く生産することが可能であり、耐焼付き性の良好なコーティング及び潤滑油を適切に選定することにより、これまでの微細歯車形状品の加工事例と比べて金型部品の寿命（及び金型破損までの寿命）2倍以上の加工が実現できた。

プレス加工品の面粗さを決定付けているのはパンチの刃先R部からストレートになる境界線付近であることが判明した。金型寿命を延ばすには、コーティングの密着性向上のためにコーティング前のパンチ生地（生地）の面粗さ精度を上げる事、それは同時にプレス加工品の抜き始めの面粗さが良くなる事につながる。そして、パンチ刃先R形状部とストレート部の境界線付近、つまり加工圧力を最も受けている部位にプレス加工時の焼付きを防ぐ為の潤滑油をいかに途切れさせないようにすることが重要であることがわかった。

(3) プレス加工量産での実証確認

プレス加工時に必要な潤滑油の最適量の確保、及びパンチの表面仕上げ精度の向上改善による実証確認を行なう為、プレス加工量産を行なった。

1) 加工条件

パンチは再生（コーティング皮膜除去後に再度 TiCN コーティングを成膜）した物を使用した。被加工材は量産で使用している板厚 3.2 mm の SPHC 材で行ない、その他の条件も通常量産時と同じとする。寿命評価は、従来量産品と同じ製品端面の表面粗さ Ra が 1.4 μm 付近の水準となった時とした。

2) 加工結果

プレス加工を開始した直後の表面粗さは平均して Ra 1.0 付近であった。その後加工を進め通常の量産で Ra 1.4~1.5 の寿命となっていた 2 万ショット~3 万ショットの間では、Ra 0.2~0.3 と 6 倍近く低い数値であったとともに、加工開始直後の表面粗さと比較しても変わらない数値だった。更に加工を進め 10 万ショットでの表面粗さは Ra 0.84 と水準としていた Ra 1.4 には程遠く、俗に言う「抜き過ぎ」によるパンチ表面の R 形状を崩してしまう恐れを懸念した為、10 万ショットで加工を中断した。ショット数と表面粗さの推移グラフを見て分かるように、従来の量産で示していた表面粗さの急激な悪化とは対比的に、ショット数が増加に伴い緩やかに表面粗さが変化している。従来の寿命と比べ 4 倍以上寿命が延びた結果となった。従来と比較したショット数の増加による表面粗さの推移グラフを図 3-1-1 に示す。

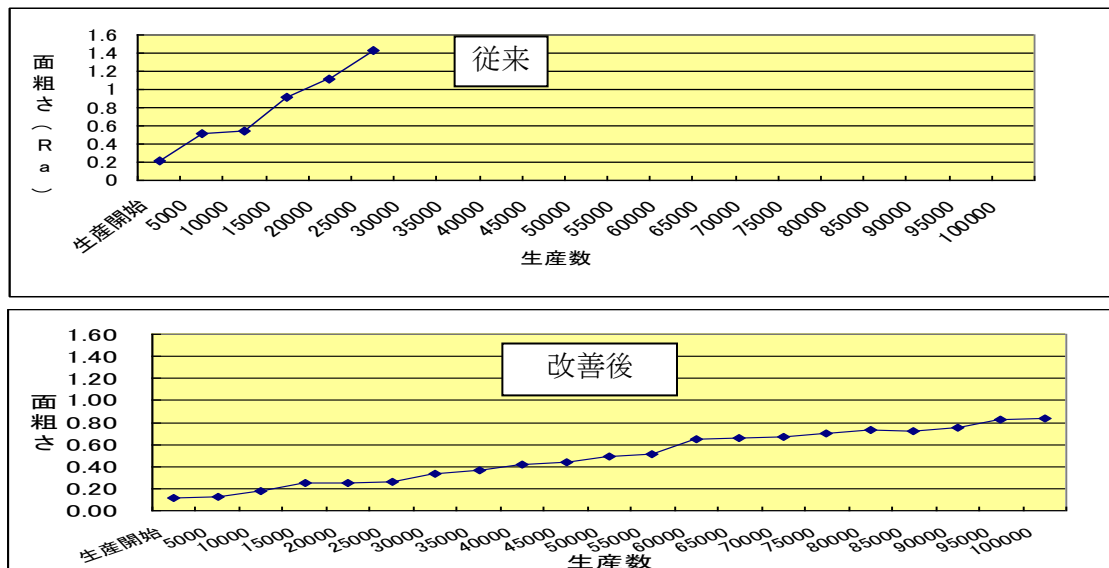


図 3-1-1 従来と改善後の比較をしたショット数の増加による表面粗さの推移グラフ

3) 製品端面の比較

製品端面の観察で示した従来の量産における寿命であった 2 万 5 千ショット時の端面と改善後の量産実証確認で加工した 10 万ショット時の表面を比較した。比較は、従来の量産における表面粗さ数値の高い部位①、②、③とする。比較した写真を図 3-1-2 に示す。

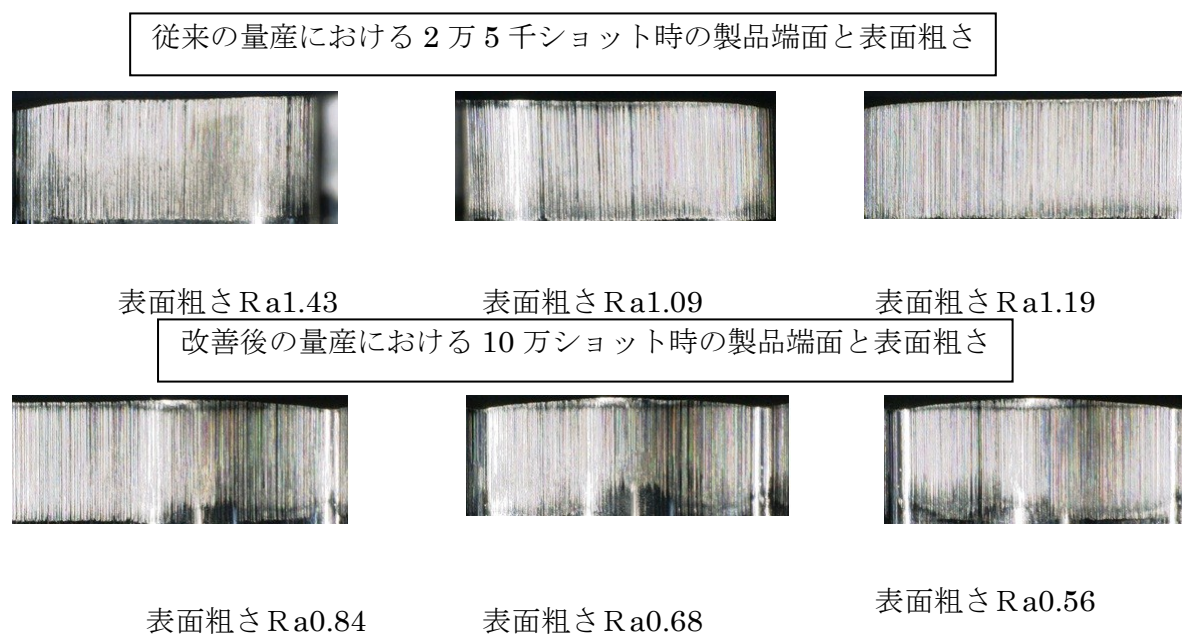


図 3-1-2 従来量産時と改善後の製品端面の比較写真

3-2 複数年の研究成果及び研究開発後の課題・事業化展開

本研究によって素材として棒材・パイプ材は球状化焼鈍を行えば使用できることを確認した。厚みが 10mm 以上の製品の見積もりが最近は増えている。切断すれば厚み選択できる棒材を素材にして精密搬送する技術をもつことは他社に比べて低コストであるという優位性が確保される。厚みが厚いものが多くなればなるほど金型寿命を長くするための技術の確立はますます重要である。コーティング・潤滑法・シミュレーション・金型と製品の関係を明らかにするための測定と CAD の融合・適切な工程設計・部品形状設計加工それぞれのよりいっそうの技術革新する必要がある。複数の技術を組み合わせる技術開発の必要がある。また本研究の成果をもとに多くの製品の事業化を目指したい。