

平成 27 年度
革新的ものづくり産業創出連携促進事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「金型の60%長寿命化を実現するニュートラル窒化処理装置の開発と
ユニット交換方式を採用したドライプレス金型の開発、および両者を活
用した量産システムの確立による加工油洗浄工程の削減」

研究開発成果等報告書概要版

平成 28 年 3月

委託者 中部経済産業局
委託先 公益財団法人名古屋産業科学研究所

目 次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	6
1-3 成果概要	10
1-4 当該プロジェクト連絡窓口	12
第2章 【テーマ①】硬度性能の向上に関する実験(名城大学)	13
2-1 研究目的及び目標	13
2-2 実験方法	14
2-3 研究成果	19
第3章 【テーマ②】焼き付きの防止対策に関する実験(ウチダ製作所)	20
3-1 研究目的及び目標	20
3-2 実験方法	20
3-3 研究成果	27
第4章 【テーマ③】ニュートラル窒化処理装置の設計・開発(名城大学)	29
4-1 研究目的及び目標	29
4-2 実験方法	30
4-3 研究成果	35
第5章 【テーマ④】実金型の試し量産の実施(ウチダ製作所)	36
5-1 研究目的及び目標	36
5-2 実施内容および結果	36
5-3 研究成果	47
第6章 事業化に向けての取組（株式会社ウチダ製作所）	48
第6章 全体総括	50
専門用語等の解説	53

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

自動車部品の多くには電着塗装が用いられている。

順送^{※1}プレス加工時の油による塗装不良を防ぐため、複数の脱脂工程を行うが、コストアップの原因になると共に、界面活性剤による環境負荷も問題となっている。

近年、プレス加工の新たな付加価値として、ドライプレス加工が着目されている。

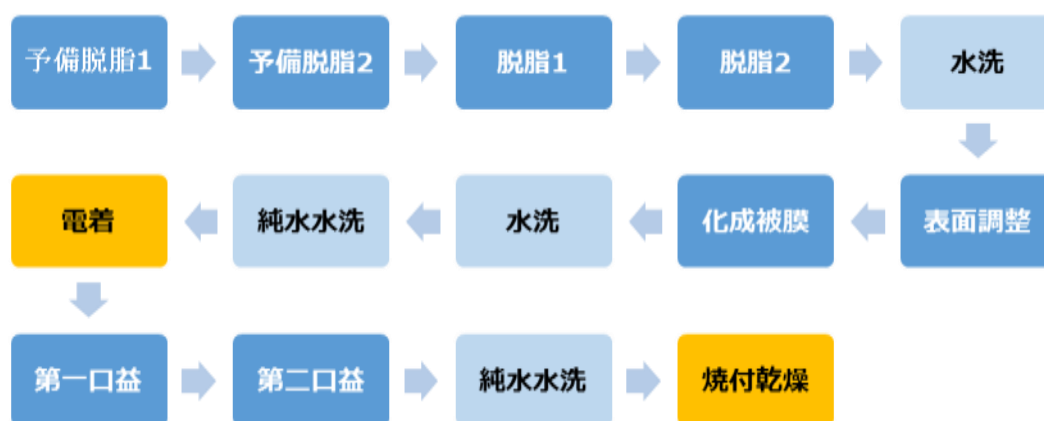


図 1. 電着塗装の工程

当社は孔抜きシェービング工程のスクラップ浮防止のため、かねてよりドライプレス加工に取り組んできた。

通常のプレス金型と同じ、焼き入れしたS K D - 1 1^{※2}をパンチに用いてドライプレスで加工実験を行ったところ、20,000 ショットでパンチの異常摩耗が発生した。

実験の考察から、ドライプレス加工を実現する上重要な要素は、以下であると結論づけている。

①プレス加工による発熱対策

→製品の品質確保の為(歪みの発生を少なくする)トリム工程を通常より分割(加工ストレス分散化)

1ヶ所あたりのトリム加工の低荷重化により発熱が抑えられる

②焼き付きや異常磨耗対策

→ワークとパンチ側面が擦れることにより焼きつきや異常磨耗発生が予測されるため、パンチの面粗度を極力落とすため、ワイヤー放電加工時の仕上げ極力滑らかに仕上げ、さらに表面処理を適用する。

チタン系のコーティングやD L Cをパンチに施して加工実験を行ったところ、チタンコートを行わなかった場合と比較して、全般的に良好な結果を得た。

得にT i A l Nに関しては、特性が優れており、300,000 ショットまで、パンチの再研磨が必要なく、連続ドライプレス加工を継続することができた。

しかしながら、実際の量産に適用するためには、500,000 ショットまで連続ドライプレス加工を可能とする必要がある。

また、規定ショット数に達した後も、容易に再研磨と再表面処理をおこなって、ドライプレス加工を再開できる必要がある。

各コーティングの種類別のドライプレス加工適用時の長所と短所を表 1 に示す。

表 1. 各コーティングの種類別のドライプレス加工適用時の長所と短所

コーティングの種類	長所	短所	課題
T i C	膜が非常に硬く滑り性が良いため幅広く利用されている	衝撃に弱い 変形を伴う加工不向き	⇒打ち抜きに不向き
T i N 	一般的である安定且つ安価	膜の硬度が低い耐摩耗性に劣る	⇒耐磨耗長寿命化に問題
T i C N 	T i Nの低硬度改善耐摩耗性に優れる	衝撃に弱い耐熱性に劣る	⇒打ち抜きに不向き
D L C	表面が非常に滑らか耐摩耗性に優れる耐凝着性に優れる	衝撃に弱い母材は超硬が最適剥離しやすい	⇒剥離が課題

T i A l N	耐摩耗性に優れる 耐熱温度が高い 冷却効果が望めない 加工向き	母材強度が必要	⇒母材強度が課題
-----------	--	---------	----------

特に良い特性を示していた、T i A l Nはであるが、母材強度を改善することで、さらにドライプレス加工に向けた特性となると考えられる。

また、D L Cも優れた特性を示したが、衝撃に弱く剥離しやすい。

母材強度や剥離耐性を上げるアプローチとしては、S K D - 1 1 などの一般的な鋼材を用いる以外に、超硬等の金属を用いる手段があげられる。

さらには、D U R O - S P などの精密型用鋼を用いることが考えられるが、これらのいわゆる高機能鉄鋼は、価格が高く、コストアップの原因となってしまう。

名城大学が研究開発したニュートラル窒化処理は、母材の硬度を高め剥離耐性を高める効果が期待できる技術である。

本研究でニュートラル窒化装置を開発し、チタンコートと複合加工することで、従来とコストは変わらず、加工数を60%高め、500,000ショットの連続ドライプレス加工を実現する。

またユニット交換式の金型とすることで、摩耗後の再研磨や再処理を容易に行うことを可能とすることで、ドライプレスを量産で本格使用可能とすることを目的とする。

技術的課題

ドライプレスのパンチに S K D - 1 1 や超硬よりもさらな母材強度の高い高機能鉄鋼を採用しても費用対効果が高まることはない。

- ①母材強度の高い高機能鉄鋼を用いると金型費が高くなる。
- ②実際の量産では人為的なミスにより、パンチやダイに設計以上の荷重が掛かり、破損することがある。



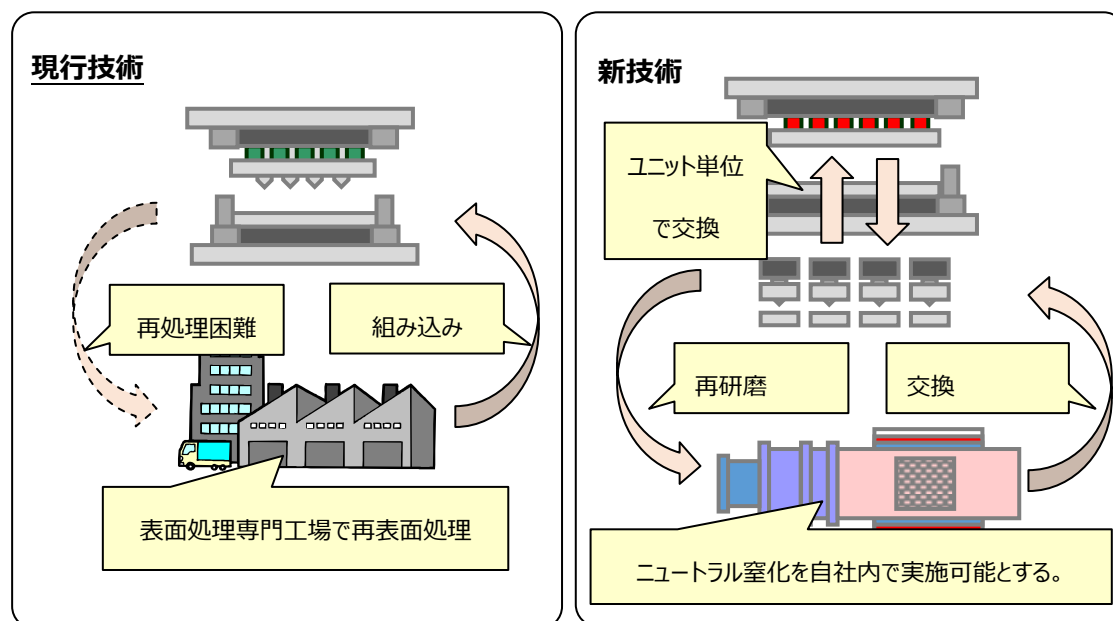
具体的解決手段

以下の手段で、実際の量産で使用可能なドライプレス加工法を確立する。

- ①パンチやダイ※⁸にニュートラル窒化法とチタンコート of 複合処理を施し、従来比 6 0 % で長寿命化する。
- ②パンチやダイをユニット単位で交換し、ウチダ製作所内の処理装置で再処理して、容易に生産の再開を可能とする。

図 2. ドライプレス加工の技術的課題と具体的な具体的解決手段

現行技術と新技術の比較を図 3.に以下に示す。



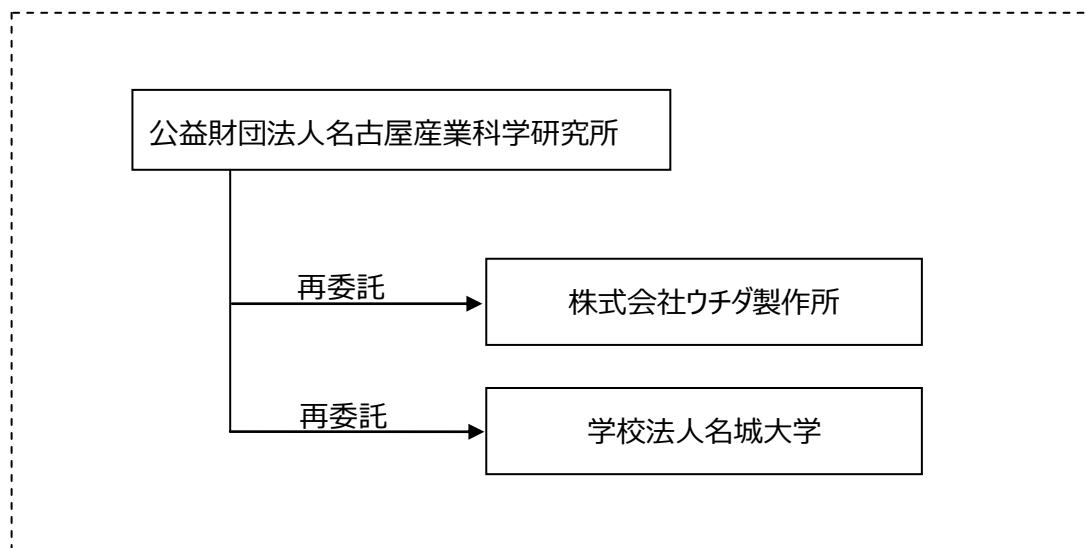
比較対象	評価	特徴
母材強度	◎	高機能鉄鋼を用いれば、ドライブレス特性は向上するがコストアップの原因となる。
表面処理強度	△	T i A L Nは母材強度が課題D L Cは剥離耐性が課題。
再処理性	×	ダイを交換できず再処理の専門工場に出すことが困難。

比較対象	評価	特徴
母材強度	○	ニュートラル窒化処理により、母材表面の強度が 15,00Hv 程度まで向上。
表面処理強度	○	ニュートラル窒化処理の適用で、T i A I N膜強度が 2 倍まで向上。
再処理性	◎	パンチやダイが交換可能で小型のため自社内で再処理が可能

図 3. 現行技術と新技術の比較

1－2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

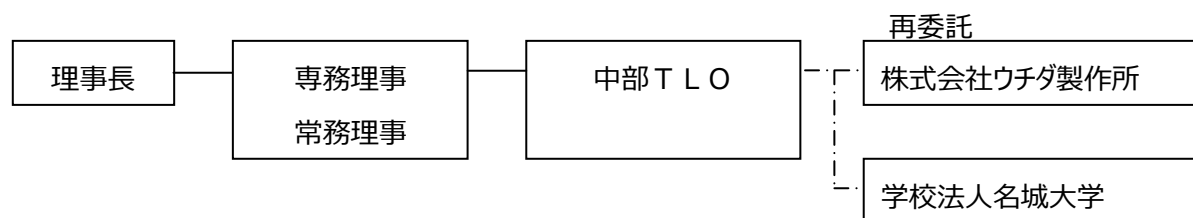
1－2－1 研究組織（全体）



総括研究代表者（P L） 所 属：株式会社ウチダ製作所 経営企画室 所属役職：常務取締役 氏 名：森 光賢	副総括研究代表者（S L） 所属：学校法人名城大学 理工学部 役職：教授 氏名：アブラハ ペトロス
---	---

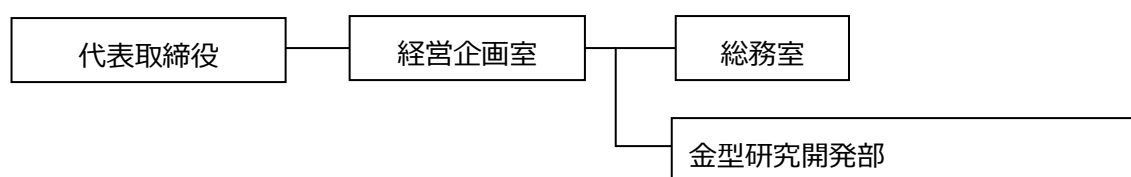
1-2-2 事業管理機関

【公益財団法人名古屋産業科学研究所】

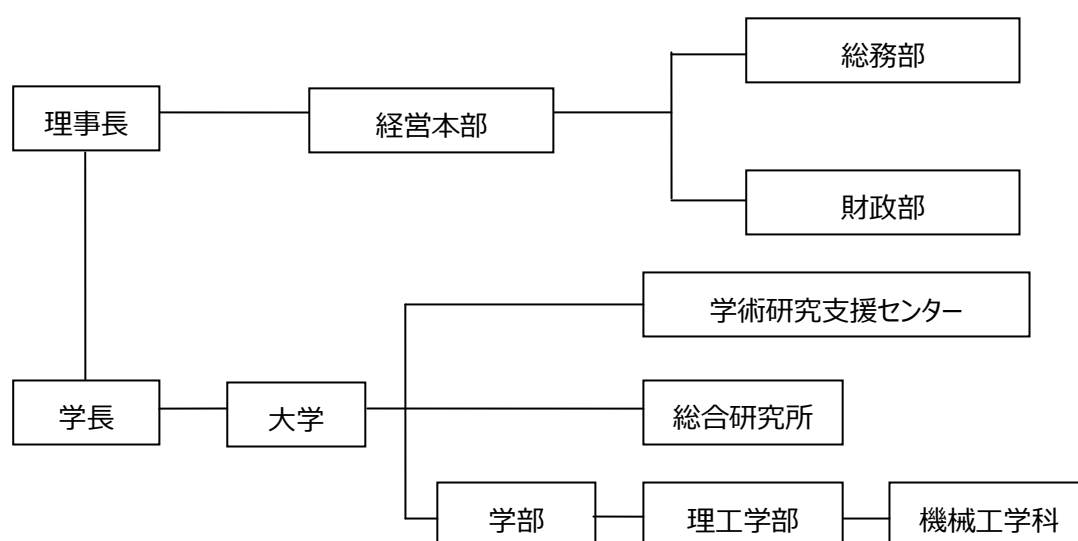


1-2-3 再委託先

【株式会社ウチダ製作所】



【学校法人名城大学】



1 - 2 - 4 管理員及び研究員

【事業管理機関】公益財団法人名古屋産業科学研究所

管理員

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
久野 茂正	中部 T L O 産学連携支援部門 担当部長	⑤
松尾 理恵	中部 T L O	⑤

【再委託先】

研究員

株式会社ウチダ製作所

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
内田 浩隆	金型研究開発部・専務取締役	②、③
伏見 佳明	金型研究開発部	③、④
森 光賢	経営企画室・常務取締役	①、②、③、④

学校法人名城大学

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
アブラハ ペトロス	理工学部教授	①、②、③

1 - 2 - 5 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

（事業管理者）

公益財団法人名古屋産業科学研究所

（経理担当者）	中部 T L O	三浦 眞
（業務管理者）	中部 T L O 産学連携支援部門 担当部長	久野 茂正

（再委託先）

株式会社ウチダ製作所

（経理担当者）	総 務 室	森 智子
（業務管理者）	経 営 企 画 室	森 光賢

学校法人名城大学

(経理担当者) 学術研究支援センター 主 事 大榎 幸夫

(業務管理者) 理 工 学 部 学部長 吉久 光一

1－2－6 アドバイザー（他からの指導・協力者）

氏 名	所属・役職
大泉 卓也（山田 敦彦）	アイシン辰栄 営業調達部
河原 浩樹	アイシン辰栄 生産技術部
西脇 武志	名古屋市工業研究所 システム技術部

1-3 成果概要

【テーマ①】ニュートラル窒化処理によるTiAlN等の表面皮膜処理の密着性の向上では、硬質薄膜を成膜する前にニュートラル窒化処理をすることが、硬質薄膜と母材の密着力に与える影響を明らかにした。

- 1) 窒素固溶量の増加に伴い、表面硬度が上昇した。
- 2) 電氣的に中性な窒素種に注目したニュートラル窒化により、化合物層の形成を抑制し、試料表面の鏡面性が維持された。

- 3) 表面硬度の上昇に伴い、密着力が向上した。

また、SKH51 試料に前処理としての鏡面ショット処理が、表面性状及びニュートラル窒化による窒化層・硬度へ及ぼす影響について調べた。

- 4) 鏡面ショット処理はいずれの回転数においても、試料表面に塑性変形を及ぼさないことが明らかになった。
- 5) 鏡面ショット処理試料において未ショット試料と比較し、窒化後の硬度および窒化層深さが上昇した。
- 6) 試料においては、窒化後の硬度が未ショット試料を上回った。

以上より、ニュートラル窒化による硬度上昇により、硬質薄膜と母材の硬度差が軽減され、密着力を向上させることができた。

【テーマ②】焼き付きの防止対策に関する実験では、亜鉛配合真鍮線における 7 回カットまでの、最適な加工条件を定めることができた。7 回カット実施時の面粗度は、Ra0.195 μ m となり、研究開発の目標値である Ra0.2 μ m を達成した。12 回カット実施時の面粗度は、Ra0.126 μ m(126nm)となり、研究開発の目標値である Ra0.2 μ m を達成した。これは一般的なワイヤー放電加工の面粗さ加工限界の Ra0.355 μ m よりの 1/3 の面粗さを得られたと評価できる。

また、面粗度が 0.1 μ m となるとワーク表面は半鏡面状となる。この程度の表面粗であれば、一般的なラッピング処理や鏡面ショット追加工することで容易に完全な鏡面を得ることができる。

鏡面ショットマシンで鏡面ショットを行ったところ、5 分以内の処理でパンチの表面を鏡面に仕上げるができることを確認した。

【テーマ③】ニュートラル窒化処理装置の設計・開発ではニュートラル窒化処理装置を用いてニュートラル窒化処理を行うことで、被処理物表面に化合物層を形成せず窒化層を形成出来ることが明らかになった。しかし、本開発では被処理物を試料ホルダ面センターの窒化層を明らかにしたのみであり、ニュートラル窒

化処理装置はエネルギー源からの距離でプラズマ密度が大きく異なるため、大量処理を行うに当たっては、エネルギー源からの距離や設置位置（半径方向）と窒化層の均一性や処理のバラツキの関係を明らかにしなければならない。そのためには、もっと数多くの試料を窒化し評価する必要がある、安定した窒化処理を行うには種々の条件の検討を継続してする必要がある。

3 次開発にはついては、組立・配線が終了し、圧力や温度の制御に問題がないことを確認し、プラズマの生成に成功した。

【テーマ④】実金型の試し量産の実施では、プレス加工の試し量産実験において、T i A l Nコーティングのみを実施したパンチでは、10万ショット時点で、マッチング形状にチッピングが発生しバリ不良が発生したが、イオン窒化、ラジカル窒化、ニュートラル窒化とT i A l Nの複合処理を施したパンチでは、研究会開発の目標値の50万ショットを達成し、継続加工可能であることを確認した。

イオン窒化やラジカル窒化を適用したパンチと比較して、ニュートラル窒化処理を適用したパンチに関しては、摩耗が少なく、さらに継続加工が可能である見込みである。

ニュートラル窒化処理は、イオン窒化やラジカル窒化とくらべて、エッジ効果がなく、パンチのエッジやマッチング等の微細形状に対しても、均一な拡散層を形成できる特性があることが、実験結果に寄与したと考えられる。

引き続き補完研究機関を通じて、加工実験を継続し、実験結果の確からしさを向上する。

また、丸パンチだけではなく、サイドカットパンチ、抜きパンチについてもニュートラル窒化処理を行い、他の窒化処理との比較実験を行う。

タップ加工の試し量産実験において、鏡面ショット+ニュートラル窒化処理+T i Nの複合加工を行ったタップは、従来のタップより10%程度多く加工ができたことを確認した。

しかしながら、タップ表面には、Feの付着物が依然として発生する傾向がある。

鏡面ショットとニュートラル窒化との複合処理に加えて、Fe付着を抑制することでさらに飛躍的にタップ寿命を延ばせる可能性が残っている。

川下企業からもタップ加工に関する油使用量の低減に関する要望は強くあるため、補完研究機関を通じて、解決を行う。

1－4 当該プロジェクト連絡窓口

【住所】愛知県名古屋市中区栄二丁目10番19号
【名称】公益財団法人名古屋産業科学研究所
【代表者】理事長 内藤 進
【担当】中部 T L O 産学連携 担当部長 久野 茂正 Tel:052-783-1255 Fax:052-788-6012 E-mail:kuno@nisri.jp

第2章 【テーマ①】硬度性能の向上に関する実験(名城大学)

2-1 研究目的及び目標

表面処理の一つとして、窒化処理がある。窒化処理とは金属表面から活性化した窒素を浸透させ、金属原子の隙間を窒素原子で固定する処理方法である。イオン窒化処理では、活性化した窒素を生成する際に必ず金属表面に窒素との化合物層ができ、返って靱性が失われるなどの欠点があった。

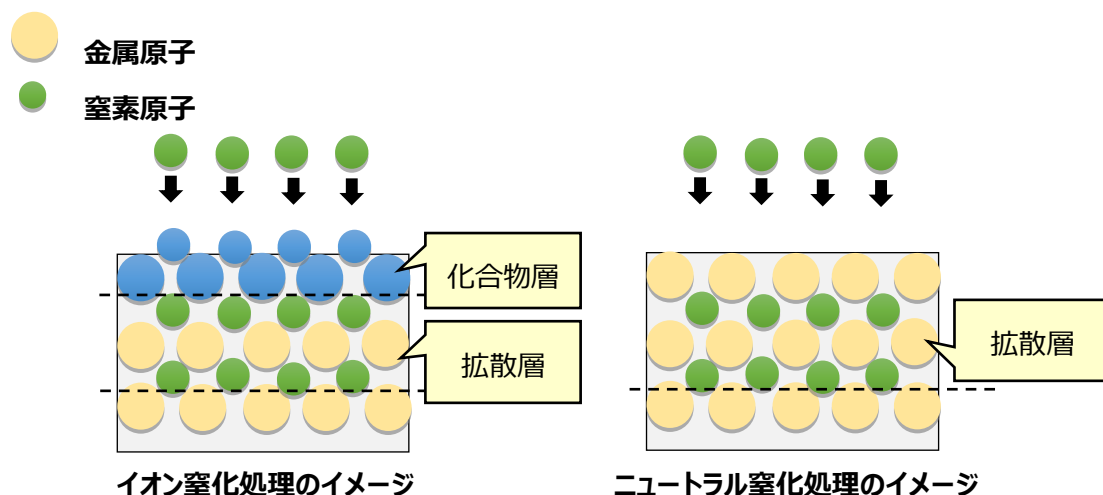


図4. イオン窒化処理とニュートラル窒化処理の比較

今回新たに学校法人名城大学が研究開発したニュートラル窒化処理は、化合物層を生成させずに窒化する画期的な方法である。

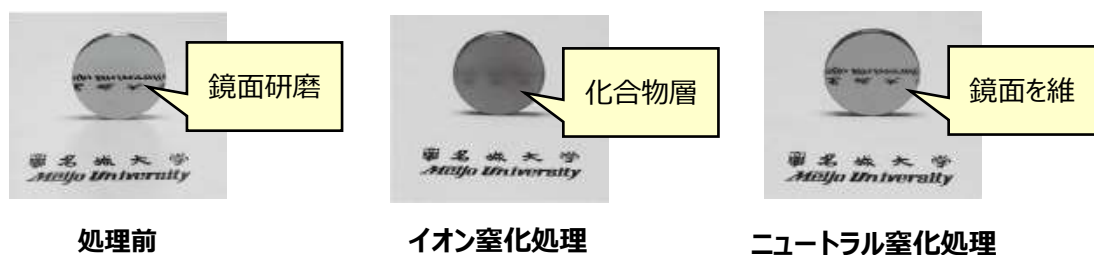


図5. イオン窒化処理とニュートラル窒化処理後の光輝性の比較

従来、焼き入れをした母材に直接パンチのチタンコートを行っていたため、母材とチタンコートの硬度差が大きく剥離がおきやすかった。

チタンコートの前処理として窒化処理を行うことで、母材とチタンコートの硬度差を緩衝することができる。

しかし、イオン窒化処理では、化合物層の上にチタンコートをした場合返って剥離がおきやすくなってしまう。

一方ニュートラル窒化処理は、化合物層を生じないので、母材とチタンとの硬度差の緩衝機能を果たしつつ、チタンコートの定着性を向上する。さらに母材自体の硬度も2倍程度向上する。

これらの効果を総合して、60%以上金型のパンチ・ダイの寿命を向上できることが期待される。

2-2 実験方法

本研究では、ドライプレスの実現にあたり、パンチやダイに用いられる工具鋼の硬度を高めることを目的として、次の2つのアプローチによって試験片に対する実験を行った。

- ① ニュートラル窒化処理によるTiAlN等の表面皮膜処理の密着性の向上
- ② 鏡面ショット処理とニュートラル窒化処理との複合処理時の硬度性能の向上

いずれの実験においても、試験片は工具鋼として産業用とで多用されるSKH51を使用した。

① ニュートラル窒化処理によるTiAlN等の表面皮膜処理の密着性の向上

次に、石川県工業試験所スクラッチ試験機 Revetest を用いて乖離破壊試験を実施した。

スクラッチ試験器は、薄膜コーティングを施した試料をダイヤモンド圧子によって荷重を連続的に増やしながらかき、臨界荷重値を計測し、薄膜の密着力を測定する。

臨界荷重値とは、薄膜が完全に剥離した時点での、付加荷重で、完全剥離箇所は、試験機にある顕微鏡により特定する。

ニュートラル窒化処理を施した試料はいずれにおいても、硬度の上昇が見られ、各試料の表面硬度は、処理時間が長くなるにつれ、表面硬度が上昇していることが確認できる。

これは、処理時間を長くするにつれ、母材表面での窒素固溶量が増加したことが原因であると考えられる。

ニュートラル窒化を施した各試料の断面をナイトール液により腐食させ、光学顕微鏡により撮影した写真を図.7に示す。

未処理の試料は、黒く変色した窒化層が確認できなかったのに対し、ニュートラル窒化処理を施した試料はいずれにおいても、黒く変色した拡散層のみが確認でき、表面に白い化合物は確認できなかった。また断

面硬度同様、断面写真からも処理時間を長くするにつれ、拡散層が深くなっていることが確認できる。

これも断面硬度分布で前述したとおり、窒化処理時間を長くすることで、深くまで中性窒素種が浸透・拡散したためであると考えられる。

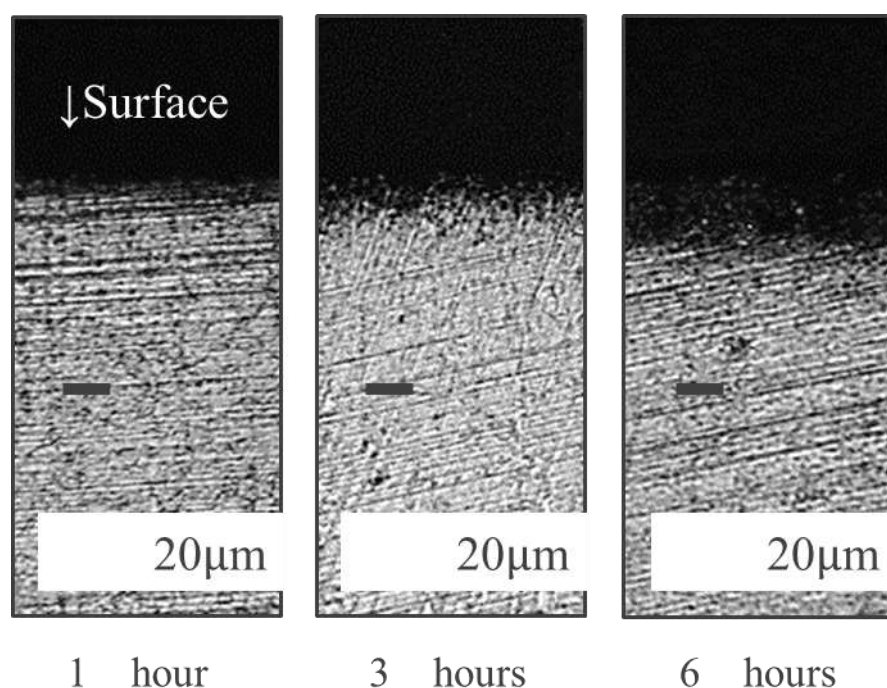


図6. 断面写真

ニュートラル窒化を施した各試料の表面外観写真を、デジタルカメラを用いて撮影したものを図.7 に示す。

未処理の試料は研磨処理により鏡面状態に仕上げられており、文字がくっきり映った。

ニュートラル窒化を施したいずれの試料において、未処理と変わらず鏡面性を保ち、文字がくっきり映った。これは表面粗さの測定結果から考察したのと同様、ニュートラル窒化により、窒素イオンによるスパッタリングを防いだことが原因として考えられる。

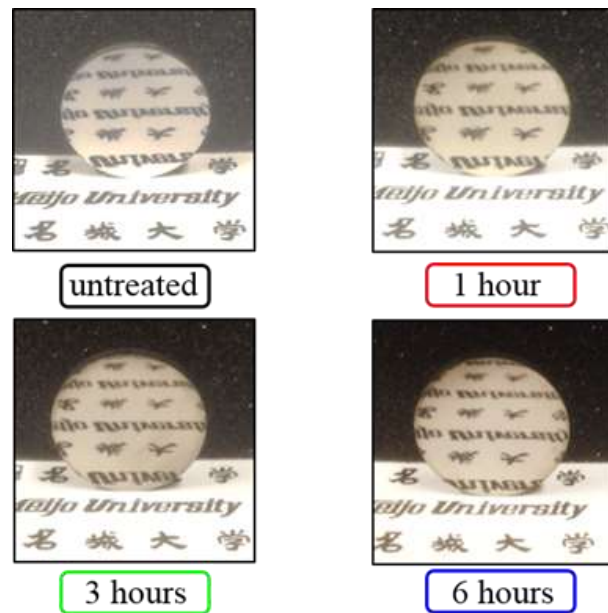


図 7. 試料片外観写真

T i A l Nコーティングを施した各試料の密着力を、スクラッチ試験機を用いて測定したものを図 8.に示す。

未処理の試料の臨界荷重値は 75N であったのに対し、ニュートラル窒化を施した試料いずれにおいても、臨界荷重値が上昇していることが確認できる。

これは窒化処理による表面硬度の上昇により、膜と母材の界面での硬度差が軽減されたことが原因であると考えられる。

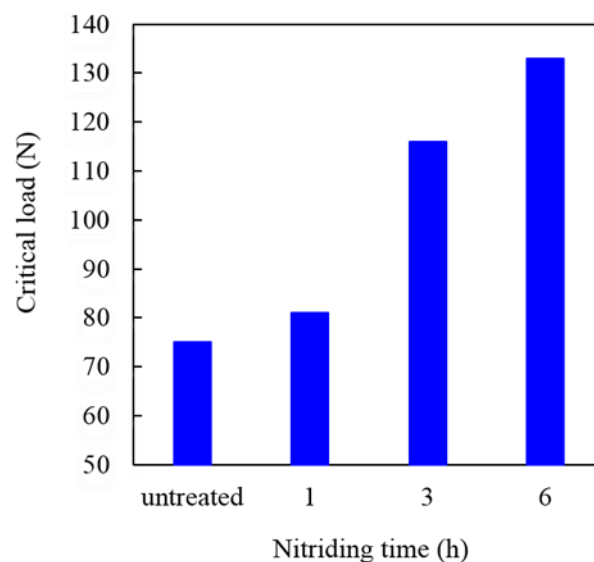


図 8. スクラッチ試験機による密着力測定

② 鏡面ショット処理とニュートラル窒化処理との複合処理時の硬度性能の向上

ショットピーニングは、硬質のショットメディアを投射し、表面部に塑性変形を与えることによる加工硬化や圧縮残留応力を付与し、耐摩耗性や疲労強度、耐応力腐食割れの向上を目的とした処理である。

しかし、ショットによる塑性変形に起因する表面粗さの増加により、表面性状の維持に問題がある。

本研究で導入した鏡面ショット装置は、ショットピーニングのひとつであるがショットメディアに弾性及び粘着性を持ったゴムのコア剤に微細なダイヤモンド砥粒を積層した研磨剤を使用する。

そのため、過剰なショットエネルギーがメディアの弾性変形により吸収され、処理物表面部の塑性変形を抑制することが可能である。



図 9. 鏡面ショットマシン

同時に、メディアの滑り研磨による表面性状の向上、ショットメディアの衝突エネルギーに起因する結晶粒径の微細化及び転位密度の増加が期待され、拡散経路の増加により窒化が効果的に行われることが考えられる。

本研究では、SKH51 試料に前処理としての鏡面ショット処理が、表面性状及びニュートラル窒化による窒化層・硬度へ及ぼす影響について調べた。

前処理として行う鏡面ショット処理装置の概略図を図.10 に示す。

投射方式は羽根車の回転による遠心力を利用してショットメディアを投射する機械式である。

羽根車の回転数をインバータの周波数制御とショットメディアの投射量のパラメータ変化によりショットエネ

ルギーを制御しながら研磨を行う。

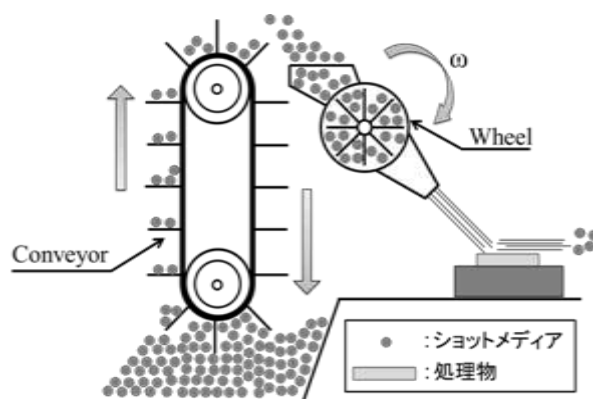


図10. 鏡面ショット処理マシン概略図

鏡面ショットを前処理として行っていない試料と施した試料を比較すると、どの試料も鏡面性を保っており紙面の文字が試料表面にくっきりと鮮明に映っており変化は見られない。

鏡面ショット処理及びニュートラル窒化は表面性状に影響を与えない。そのため鏡面ショット処理では、表面性状を保ったまま試料表面・内部に結晶粒径の微細化及び転位密度の増加を生じさせる可能性があると考えられる。

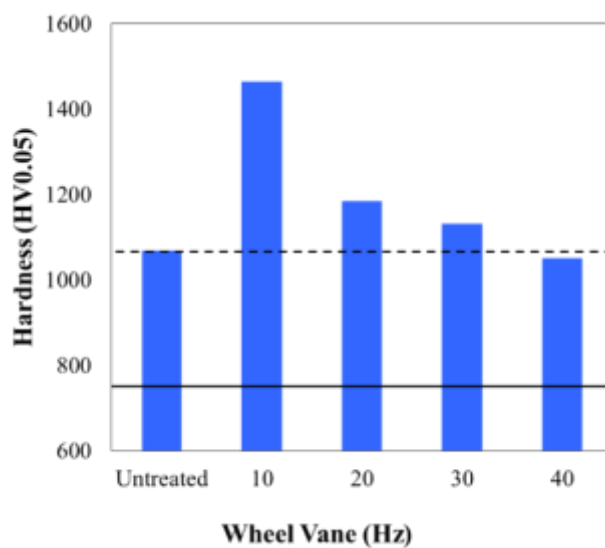


図11. 鏡面ショットマシンホイール回転数と窒化表面硬さ

2-3 研究成果

① ニュートラル窒化処理によるTiAlN等の表面皮膜処理の密着性の向上

硬質薄膜を成膜する前にニュートラル窒化処理をすることが、硬質薄膜と母材の密着力に与える影響を明らかにした。

- 1) 窒素固容量の増加に伴い、表面硬度が上昇した。
- 2) 電氣的に中性な窒素種に注目したニュートラル窒化により、化合物層の形成を抑制し、試料表面の鏡面性が維持された。
- 3) 表面硬度の上昇に伴い、密着力が向上した。

以上より、ニュートラル窒化による硬度上昇により、硬質薄膜と母材の硬度差が軽減され、密着力を向上させることができた。

② 鏡面ショット処理とニュートラル窒化処理との複合処理時の硬度性能の向上

本研究では SKH51 試料に前処理としての鏡面ショット処理が、表面性状及びニュートラル窒化による窒化層・硬度へ及ぼす影響について調べた。

SKH51 試料に前処理としての鏡面ショット処理が、表面性状及びニュートラル窒化による窒化層・硬度へ及ぼす影響について調べた。

- 1) 鏡面ショット処理はいずれの回転数においても、試料表面に塑性変形を及ぼさないことが明らかになった。
- 2) 鏡面ショット処理試料において未ショット試料と比較し、窒化後の硬度および窒化層深さが上昇した。
- 3) 試料においては、窒化後の硬度が未ショット試料を上回った。

第3章 【テーマ②】焼き付きの防止対策に関する実験(ウチダ製作所)

3-1 研究目的及び目標

ニュートラル窒化処理は、一般的な窒化表面処理の致命的欠陥である窒化物を生成しないため、処理面が鏡面のようになめらかであり、面粗度が低い。

ドライプレス金型の摩擦を低減するために、ダイとパンチを作成するにあたって、次の点に留意する必要がある。

- A) 抜き工程を細分化し、パンチ一つあたりにかかる加重を低減し、発熱量を抑える。
- B) 限りなく面粗度を低くし、パンチとダイ、製品材料間の摩擦抵抗を小さくする。

A) に従って、抜き工程を細分化すると、抜きの工程数が多くなるため、抜き割り板部分が大きくなる。ウチダ製作所が現在所有するワイヤー放電加工機は X 軸方向に 350、Y 軸 250 にしか稼働しないため能力が不足する。

また、B) に従って面粗度を低くするためには、特殊電源を搭載したワイヤー放電加工機が必要となるため導入した。

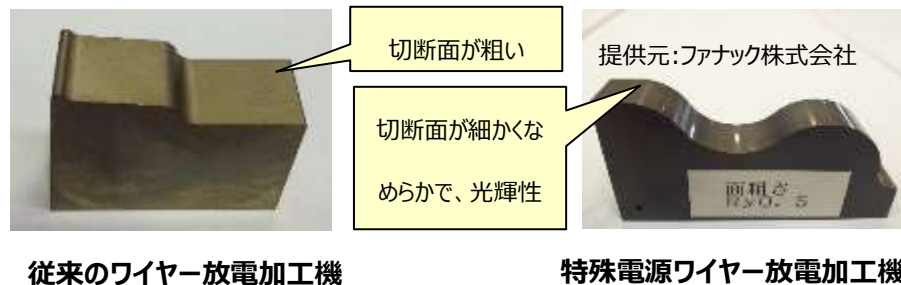


図 12. 従来のワイヤー放電加工機と特殊電源ワイヤー放電加工機の比較

ウチダ製作所にて行ったドライプレス金型試験結果によると、ドライプレスの連続生産加工数を向上するためには、パンチやダイ・製品材料間の摩擦抵抗を小さくするために算術平均粗さ Ra を 0.2 以下に仕上げるのが課題となっている。

3-2 実験方法

ワイヤー放電加工は、図 13.に示す通り、ワイヤーを電極として、アーク放電によってワークの一部を除去する加工方法である。

加工時にスラッジとして発生する金属粉を除去すること、ワークやワイヤー電極線を冷却する目的で、水中で行うことが多い。

現在では、金型製作にあたってパンチやダイを作成する上で、必要不可欠な工作機械となっている。

ワイヤー放電加工において、面粗度を低くするためには、カット回数を増やし、加工電圧を各加工化回数に応じて、段階的に下げていくことで面粗度を低くしていくことができることが広く知られている。

しかしながら、ワイヤー電圧によって、放電が起こる間隔が変化するが、板厚に対する放電の大きさによってワークの削れ量も異なるため、実際に加工したいワークからどれだけワイヤーをオフセットして加工すれば正寸が得られるかを決めたオフセット値を板厚別に求める必要がある。

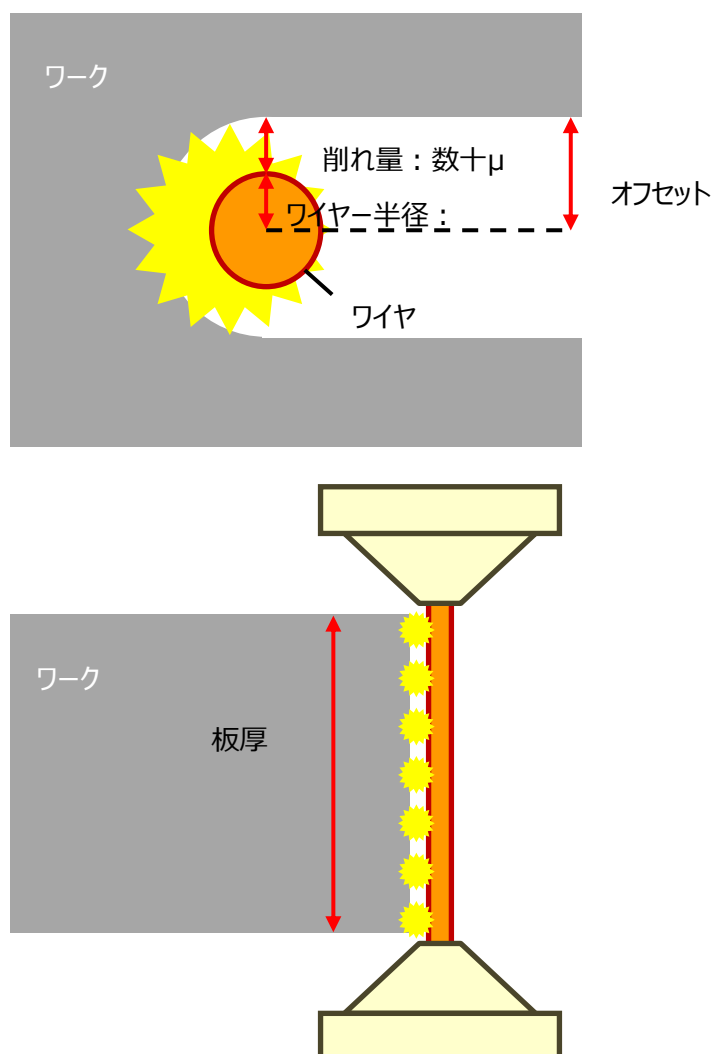


図 13. ワイヤー放電加工の模式図

一般産業用途では、ワイヤー放電加工時に消費するワイヤー電極線量・消費電力・加工必要時間などのコスト要因から、1 回から 4 回までの加工回数でワークを加工することが多い。

ウチダ製作所は過去のドライプレス加工実験において、4 回の加工回数でパンチの面粗度をより下げることに成功している。

さらに面粗度を下げるためには、4 回加工以上の加工回数でパンチを加工することが考えられる。しかし、一般的なワイヤー放電加工機では、4 回加工以上の加工回数に対応した微小の電圧の印加とオフセット値を制御することは分解能の問題で不可能である。

つまり、単純に印可電圧と放電の制御を行う限界があり、加工回数を増したところで、面粗度の低下には効果がなく、かえって面粗が悪化する場合がある。

そこで、本研究では、ファナック株式会社のワイヤー放電加工機α-C600iA ベースとした、特殊電源ワイヤー放電加工機を導入した。

本機は、xy テーブル稼働方向に対して、リニアスケールを搭載しており、0.1 μ m 単位で正確な制御が可能であり、これにより正確なオフセット値、および加工速度の制御を可能としている。加えて、本機には、ファナックの協力を得て、ウチダ製作所が指定する加工電圧帯域に対応した、特殊電源を開発し搭載した。



図 14. 特殊電源ワイヤー放電加工機

本研究では、以下に 3 つの実験を行い導入した特殊電源ワイヤー放電加工機に搭載する独自の加工条件を特定する。

- ① 板厚別加工条件の各パラメータと加工回数、面粗さの関係

- ② 正寸を得るためのワイヤーをオフセット値の補
- ③ ワイヤー放電加工によるワークのたわみ量評価

① 板厚別加工条件の各パラメータと加工回数、面粗さの関係

ワイヤー印可電圧は、ワークを最初に切断する時に用いられるファーストカット時に最も高く、その後加工面の面粗度を低下させるための、セカンドカット以降は面粗度に応じて、段階的に低く設定していく。

これは、面粗度が低下するにつれて、ワークの面とワイヤーの距離の間のアーク放電距離が、限りなく一定に近づいていくことから、ワイヤーをワークに近づけても安定的な放電が可能となるためである。

つまり、面粗度が低下するについて、オフセット値を小さくし、ワイヤーをワークにさらに近づけることが可能になり、この時のアーク放電に必要なワイヤー印可電圧を低下させることができる。

印可電圧を小さくした状態でアーク放電を行えばより、微細な面の凹凸のみ除去しながら加工することとなり、面粗低下となる。

逆にこの時の放電が不安定となると、不安定な加工が行われ、ワーク表面の面を荒らしてしまう原因となる。無論、放電がおきなければ加工そのものが行われない。

加工条件は全ての材質、板厚について求めようとすると、膨大な加工実験回数を行う必要がある。そこで、本研究では、ウチダ製作所でよく用いるパンチ・ダイの金型材料に対して、加工条件を求めることとした。

面粗度の測定は、面粗度測定ピースをカット数ごとに作成し、あいち産業科学技術総合センターにて面粗度を計測した。面粗度の測定は面粗度測定ピースの短手方向に行った。

フィルタなし、算術平均面粗さ Ra を採用した。

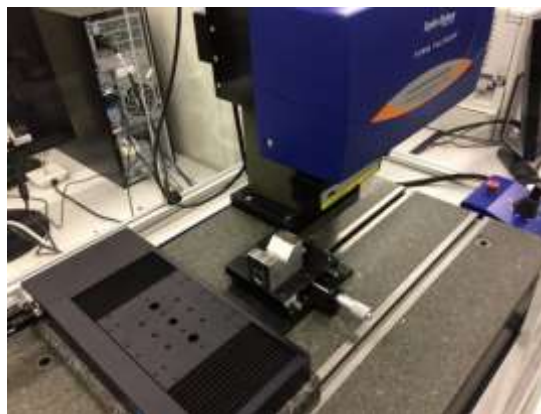


図 15 あいち産業科学技術総合センターフォームタリサーフ（テラーホブソン製）

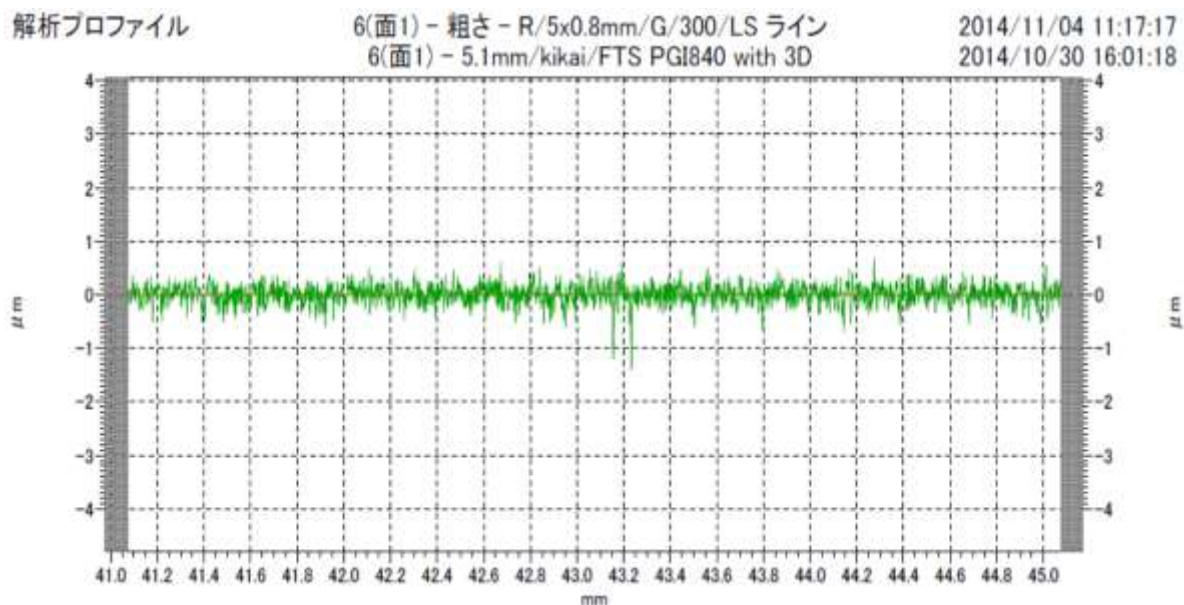


図 16. 面粗度の測定結果の例

表 2. 実験条件

条件	条件
ワイヤー電極線	イースタン技研 亜鉛含有ワイヤー電極線 HP40-20-P5
イオン交換樹脂	日本メカケミカル MC-5 5L
ダイスガイド	0.2mm
加工ワーク材質	SKD-11、DCMX、DEX40
板厚	20mm、40mm、60mm、70mm
加工条件	7 回カット加工パターン
各板厚作成テストピース数	面粗さ測定ピース N=5 オフセット量測定ピース N=20

② 正寸を得るためのワイヤーをオフセット値の補正

①によりワークを折損するための、電圧等の条件は明確になった。

しかし、金型のパンチ・ダイを製作する上では、1 μ m 程度の加工誤差を制御できる必要がある。そこで、①で判明した加工条件において、実際にワークがどの程度の大きさに仕上げられたかを確認する正確に測定することでオフセット値を求めることとした。

オフセット測定テストピース(N=20)を製作して、Keyence 社製 3 次元画像測定機 VR-3000/3200

を用いて測定を行った。

この時測定モードを高解像度カメラで実施し、実際のワークの 42 倍の大きさまで引き伸ばし、複数回にわけて計測を行うことで、よりワークの寸法を正確に測定することとした。

1 から 7 回までのカット行程につき、それぞれ、仮設定したオフセット値から、実際のオフセット測定テストピースの計測を行い、予定寸法との差をとり、オフセット値の補正を行った。

この計測を繰り返し、各板厚・加工材質ごとに計測を行った。

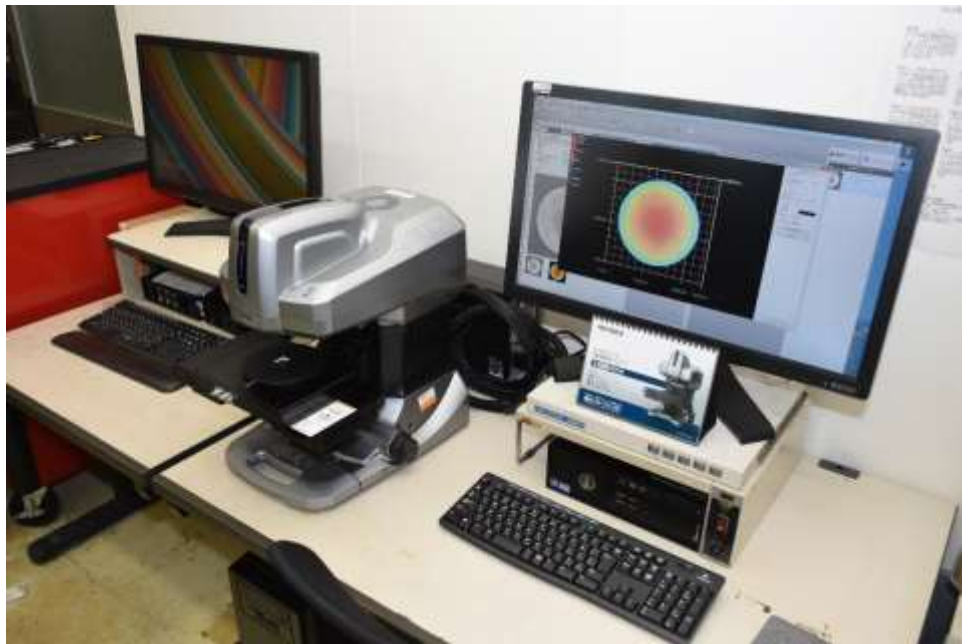


図 17. Keyence 社製 3 次元画像測定機 VR-3000/3200

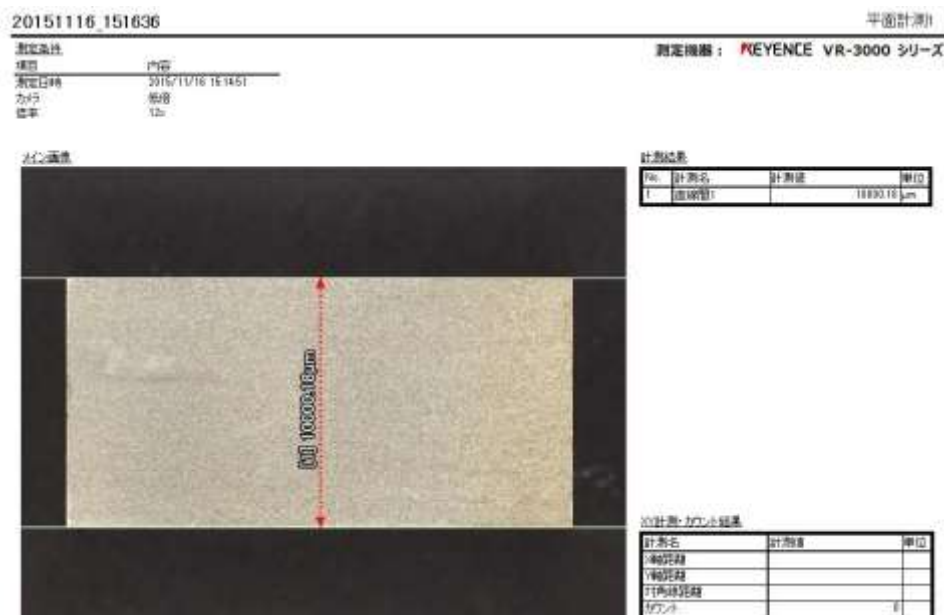


図 18. Keyence 社製 3 次元画像測定機 VR-3000/3200 による測定結果

③ ワイヤ放電加工によるワークのたわみ量評価

既に述べたことであるが、ワイヤ放電加工では、ワイヤによってワークを折損して加工する方法をとる。ワークの厚さについては、上ノズルと下ノズルの間隔をあわせて長くなる。つまり、ワークの板厚が厚くなればなるほど上ノズルと下ノズルの間隔は広くなり、ワイヤの露出範囲が長くなる。

上ノズルからは、ワークをアーク放電により折損したときに発生するスラッジを除去するために、強力なジェット水流が流れている。

ジェット水流の影響はワイヤの露出範囲が長くなると、ワイヤのたわみがおきる。また、ワークの中心部ではワークを折損する際のアーク放電の爆発力で、ワイヤがワークから逃げるなどの現象も発生する。

これらの影響は、特に、50mm 以上の板厚のワークを加工する際に、ワイヤの露出範囲が長くなることから無視できない影響が出てくると場合が多い。

この現象については、一般に「太鼓」現象と呼ばれ、ワイヤ放電加工の原理上避けられないのであるが、今回特定した加工条件でどの程度の太鼓が発生するかについては、定量的に把握しておく必要がある。

そこで、Keyence 社製 3 次元画像測定機 VR-3000/3200 にて、加工したワークの高さ方向の

計測を行い、実際に太鼓がどの程度発生しているかを測定した。

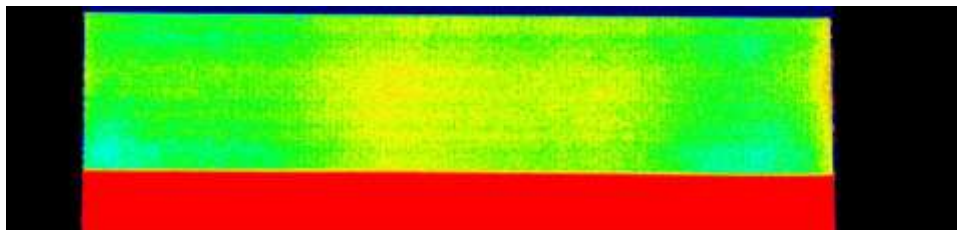


図 19. 板厚 50mm のたわみ量

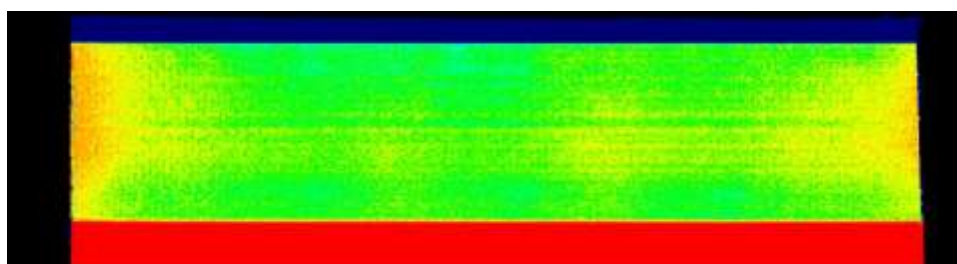


図 20. 板厚 70mm のたわみ量

20～40mm までの板厚のワークについては、太鼓の現象は $1\mu\text{m}$ 未満と小さいことから、無視できるレベルと判断した。しかしながら、50～70mm の板厚になると、太鼓現象は $3\sim 5\mu\text{m}$ 発生していることから、影響を考慮する必要があることを確認した。

そこで、ファナック加工技術研究所と共同で検討を行い、同社製ワイヤー放電加工機 α -C600iA の標準機能である上下オフセットの値を調整することで、太鼓現象を $1\sim 3\mu\text{m}$ まで低減できるようにした。

各板厚について、測定した結果については、3 - 3 研究成果に述べる。

3 - 3 研究成果

これらの実験を経て、亜鉛配合真鍮線における 7 回カットまでの、最適な加工条件を定めることができた。加工条件については、「別紙 1 特殊電源ワイヤー放電加工機加工条件一覧」に示す。

7 回カット実施時の面粗度は、 $Ra0.195\mu\text{m}$ となり、研究開発の目標値である $Ra0.2\mu\text{m}$ を達成した。12 回カット実施時の面粗度は、 $Ra0.126\mu\text{m}$ (126nm)となり、研究開発の目標値である $Ra0.2\mu\text{m}$ を達成した。これは一般的なワイヤー放電加工の面粗さ加工限界の $Ra0.355\mu\text{m}$ よりの $1/3$ の面粗さを得られたと評価できる。

また、面粗度が $0.1\mu\text{m}$ となるとワーク表面は半鏡面状となる。この程度の表面粗であれば、一般的な

ラッピング処理や鏡面ショット追加加工することで容易に完全な鏡面を得ることができる。

実際に名城大学に設置した鏡面ショットマシンで鏡面ショットを行ったところ、5 分以内の処理でパンチの表面を鏡面に仕上げることを確認した。その結果については、実金型の試し量産の実施で述べる。このことから本研究でのパンチの作成手順は以下の手順に従うこととした。

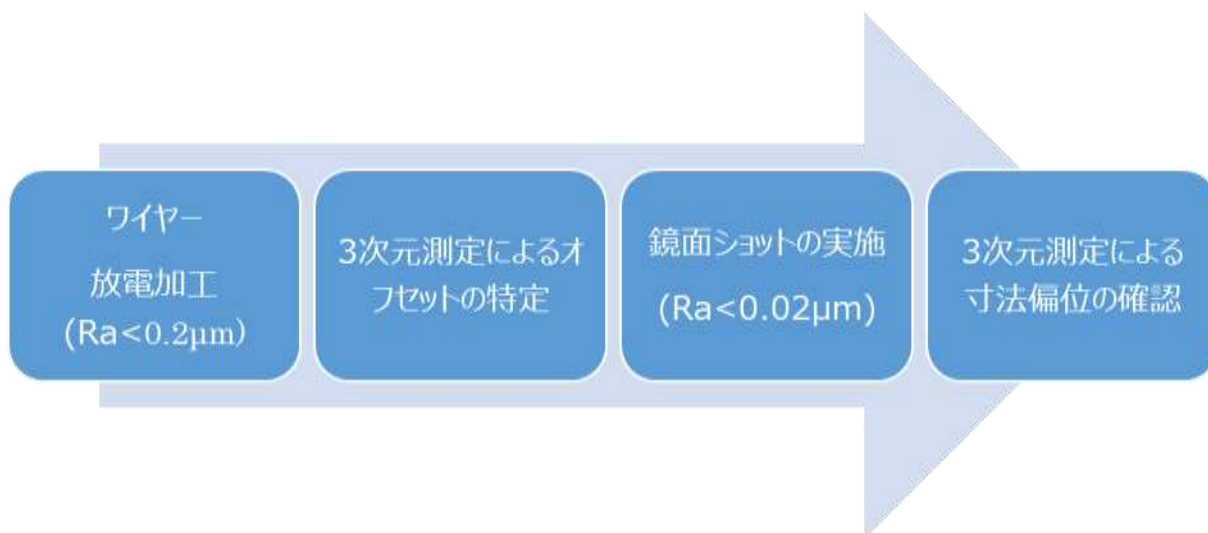


図 21. パンチの制作手順

第4章 【テーマ③】ニュートラル窒化処理装置の設計・開発(名城大学)

4-1 研究目的及び目標

名城大学が建造した電子ビーム励起プラズマ装置は、図 22.の構造となっている。

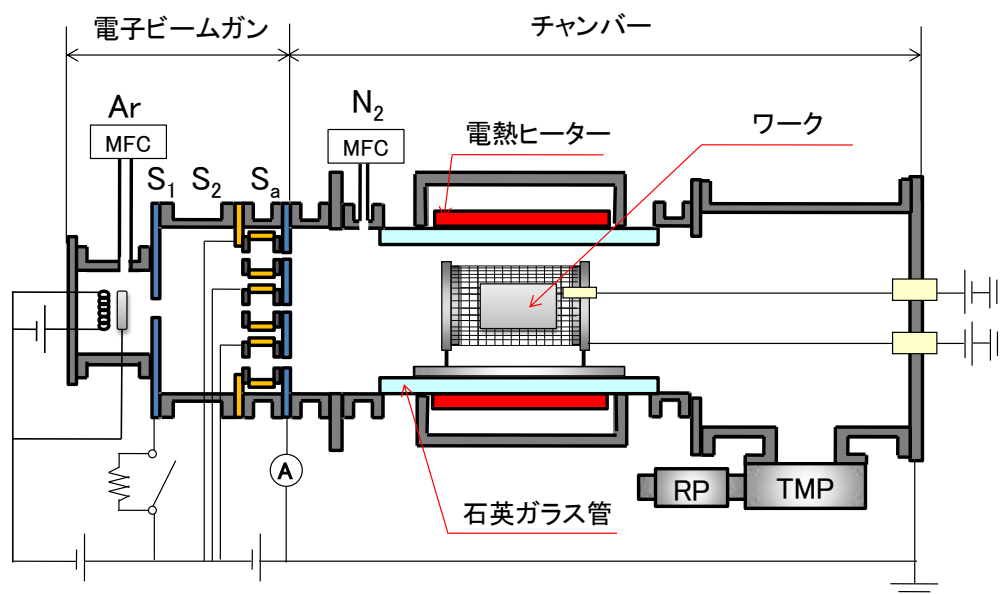


図 22. 電子ビーム励起プラズマ装置(旧ニュートラル窒化処理装置)

電子ビーム励起プラズマ装置は、電子ビームガンとチャンバーから構成されており、ガスを導入するマスフローコントローラと、油回転ポンプおよびターボ分子ポンプからなる排気系が取り付けられている。ワークを設置する位置は石英ガラス製の円筒型チャンバー内で、チャンバー外部に電熱ヒーターが設けられている。

ワークは窒素イオンによる窒化を避けるため、窒素イオンと電気的逆電荷をかけた円筒状の金網を設置している。しかし、この金網大きさによって、処理可能なワークは幅 30mmx 奥行き 30mmx 高さ 100mm に制限されている。

ニュートラル窒化処理を事業化するためには、処理可能なワークを大きくする必要がある。ニュートラル窒化処理装置の炉の容積を大きくすると、真空ポンプやヒーター、電源等全体の装置構成の容量を大きくする必要があり、コストアップの原因となる。

そこで、本事業では円筒状の金網ではなく別の手段によって窒素イオンの侵入を防ぐ新たな構造の炉と、それに対応した新開発のプラズマ源を搭載する。設計開発のノウハウは名城大学で確立している。

本事業において、ニュートラル窒化処理装置を内田製作所と名城大学で共同開発する上で、以下を目標とする。

- A) 処理可能ワークは幅 150mmx 奥行き 150mmx 高さ 150mm を達成すること。
- B) ウチダ製作所のような中小規模事業者でも購入設置な大きさであり、開発完了時の部材のコストが 1,500 万円以内で開発できること。

4-2 実験方法

① ウチダ製作所の依頼によるパンチの窒化処理（EBEP 装置）

ウチダ製作所の依頼により打ち抜きパンチに鏡面ショット処理および電子ビーム励起プラズマ源を用いたニュートラル窒化処理を施した。

窒化処理の前処理として、パンチ表面の表面粗さを向上させるために鏡面ショット処理を施した。

② ニュートラル窒化処理装置（第2次開発）

2次開発までに図 23.に示す装置が組み立てられ、圧力特性や温度特性、安定したプラズマの生成等が確認された。2次開発では、プラズマの諸特性や実際の窒化処理について評価した。

②-1 プラズマパラメータの計測

プラズマの諸量を測定する方法としてプローブ(探針)をプラズマ中に入れ、プラズマに対してプローブの電位を変化させることで、電流-電圧特性から測定するラングミュアプローブ（シングルプローブ）法がある。この方法は、比較的簡易であり、理論的裏づけも行われているため、プラズマ診断に広く用いられている。シングルプローブ法を用いて、電子温度、プラズマ密度、プラズマ電位、浮遊電位などがわかる。



図 23. Photograph of Neutral nitriding equipment (the second stage)

②－２ フローティングによる窒化処理

予備実験のために生成された窒素プラズマと窒化層の傾向を調べるために試料を浮遊電位にした状態での窒化を行った。イオン窒化及びニュートラル窒化では試料に正負のバイアスをかけることで電界の影響を受け、窒素プラズマの状態が変化してしまうため、試料をフローティングに置いた状態で窒素ガス流量、圧力を変化させたときの窒化処理に与える影響を明らかにし、あらかじめ最適条件を決定した。試料は常に浮遊電位にするために外部電源により常に浮遊電位となるようにした。

②－２－３ イオン窒化処理

処理時間を変化させ、イオン窒化処理を施した試料の表面硬さの、設置位置による硬度差を図 24-1. に示す。未処理の硬さは 630HV あり、破線で示した。処理時間を延ばすことで表面硬さが向上することが分かり、1.5 時間では 1100HV、3 時間では 1200HV、6 時間では 1500HV 程度の硬度を得ることが出来た。ニュートラル窒化と比較して、3 時間と 6 時間で硬度差が得られたのは、イオン窒化では非常にエネルギーの高い窒素イオンを用いて窒化を行うために、窒素の浸透拡散が高エネルギーで行われたためであると考えられる。

断面硬さ分布を図 24-2. に示す。未処理の硬さは 630HV であり、破線で示した。未処理+100HV までを硬化した層だとすると、硬化層深さはそれぞれ中部の 1.5 時間で 25 μ m、3 時間で 30 μ m、6 時間で 55 μ m となった。

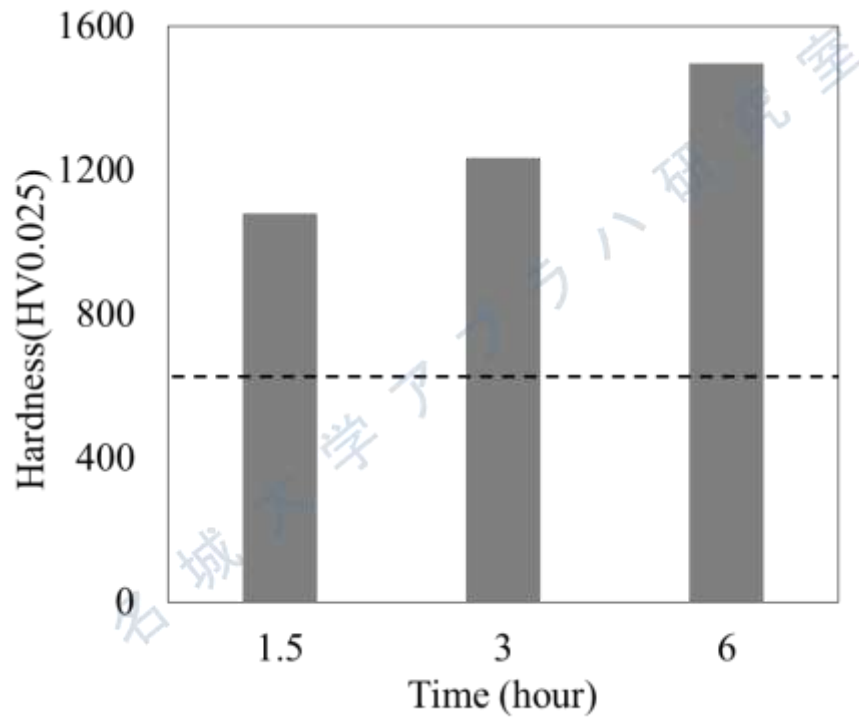


図 24-1. Surface hardness by variation of treatment time

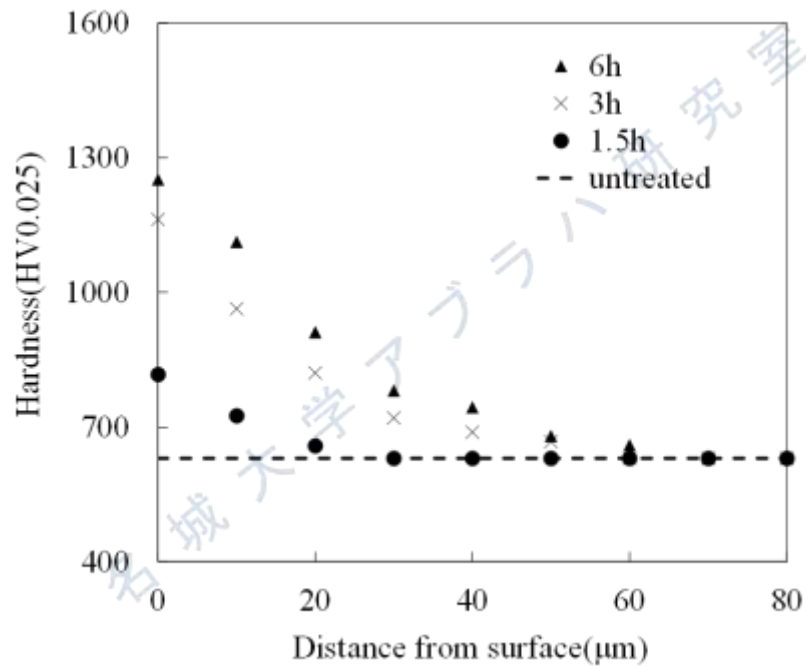


図 24-2. Hardness distribution of ion nitride samples

②－４ ニュートラル窒化処理

処理時間を変化させ、ニュートラル窒化処理を施した試料の表面硬さの、設置位置による硬度差を図 24-3.に示す。未処理の硬さは 630HV あり、破線で示した。処理時間を延ばすことで表面硬度が向上することが分かったが、3 時間と 6 時間では 100HV 程度の差しかなかった。

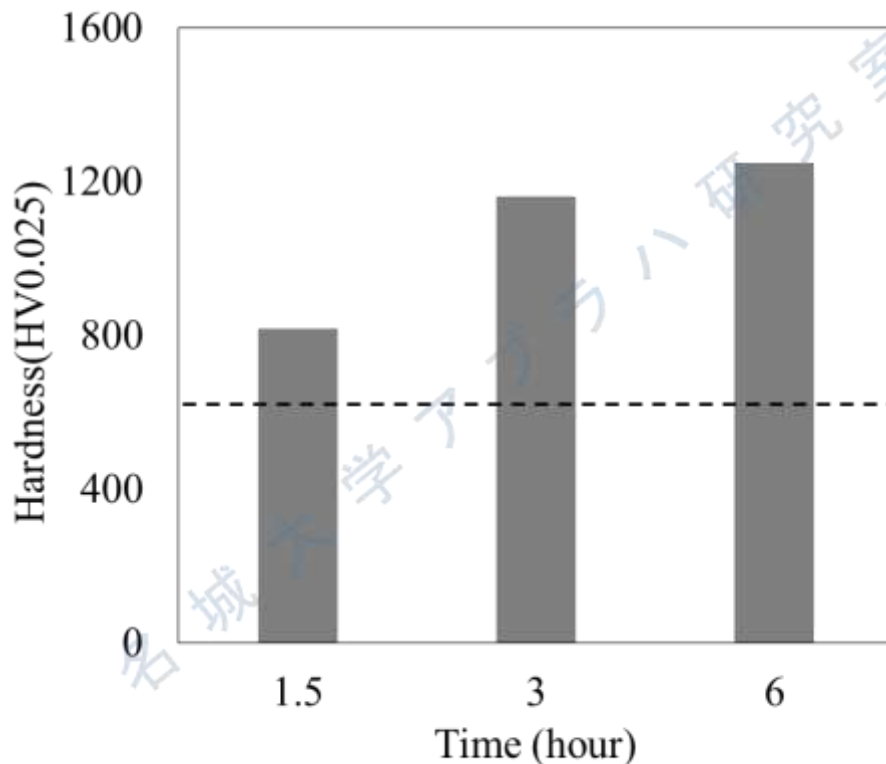


図 24-3. Surface hardness by variation of treatment time

③ ニュートラル窒化処理装置（第 3 次開発）

第 3 次開発では、基本的な装置の構成は変わらないが、2 点の改良および追加が行われた。1 点目は、バッチ単位での処理や金型への処理を将来に見据えてチャンバー容積を 2 倍にした。2 点目は、第 2 次開発でのラングミュアプローブ測定によりプラズマ源からの距離の増加によりプラズマ密度は大きく低下することが明らかになっている。そのため、窒化処理にバラつきが出ると予測される。そのバラつきの抑制のため 2 軸回転ステージを設置した。平成 27 年内に組立は完了し、翌年 1 月に配線を完了した。組み立て・配線の終了した第 3 次開発のニュートラル窒化処理装置を図 25-1.に示す。また、設置した 2 軸回転ステージを図 25-2.に示す。

2 軸回転ステージは、土台のステージ（公転）と工具自体（自転）の 2 軸が回転する。回転数は 0 ～ 1 0 [rpm]の回転数に調節が可能であり、公転と自転の回転数の比は 1 : 2 となっている。また、工具の設置に必要なホルダは着脱可能でφ 2 0 の工具までは現行ホルダでつかむことができ、1 2 本を同時に設置することが可能である。金型や直径の大きなパンチ・ドリル等の工具を処理する場合は工具ホルダを外し、土台ステージの回転のみを利用することも可能である。



図 25-1. Photograph of Neutral nitriding equipment (the third stage)



図 25-2. Photograph of Rotary stage and controller

4-3 研究成果

ニュートラル窒化処理装置を用いてニュートラル窒化処理を行うことで、被処理物表面に化合物層を形成せず窒化層を形成出来ることが明らかになった。

しかし、本開発では被処理物を試料ホルダ面センターの窒化層を明らかにしたのみであり、ニュートラル窒化処理装置はエネルギー源からの距離でプラズマ密度が大きく異なるため、大量処理を行うに当たっては、エネルギー源からの距離や設置位置（半径方向）と窒化層の均一性や処理のバラツキの関係を明らかにしなければならない。そのためには、もっと数多くの試料を窒化し評価する必要がある、安定した窒化処理を行うには種々の条件の検討を継続してする必要がある。

3 次開発にはついては、組立・配線が終了し、圧力や温度の制御に問題がないことを確認し、プラズマの生成に成功した。（図 25-3.）

しかし、生成したプラズマは不安定な状態にあり、安定したプラズマの生成には引き続き調査が必要である。

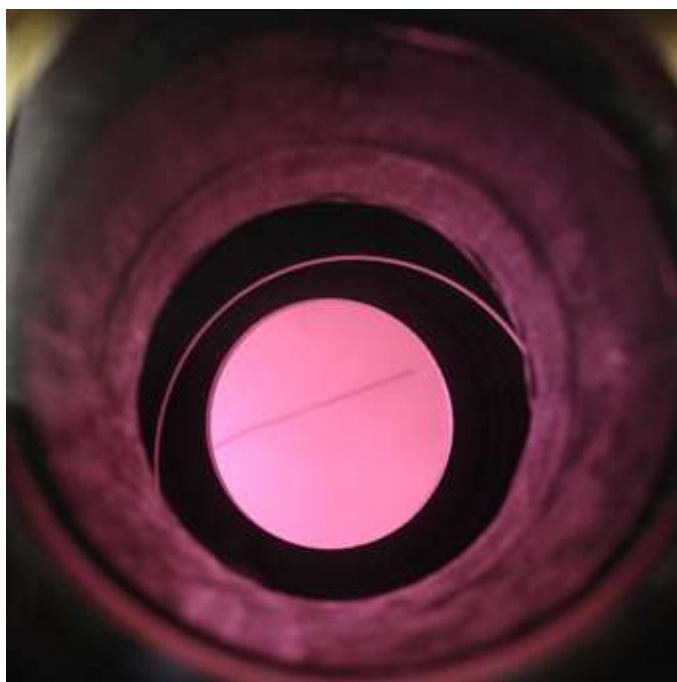


図 25-3. Photograph of N_2 plasma in the third stage

第5章 【テーマ④】実金型の試し量産の実施(ウチダ製作所)

5-1 研究目的及び目標

ウチダ製作所においてサーボプレス※¹¹での生産実験を行う。

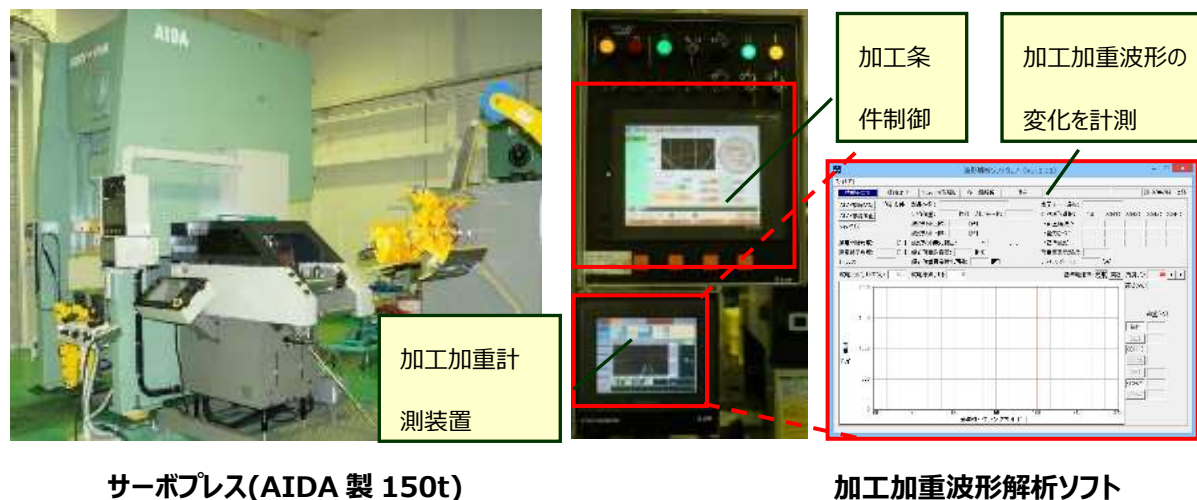


図 26. サーボプレス生産実験装置

生産加工数については、10 万回(1 ロット)の連続加工を行い、50 万回以上の金型のメンテナンスを行わずに加工を続けられることを目標とする。

加工中に加工加重をプレス機搭載の加工加重計測装置で計測する。また、パンチが摩耗すると、抜き工程に必要な加重が増大する。加重の監視を行うことで、ドライブレス金型の加工限界を確認することができる。なお、製品精度についても目視で確認する。

加工後は、プレス機で取得した加重データを解析する。

製品についても、一定ショット毎にサンプリングを行い、3次元測定を行う。

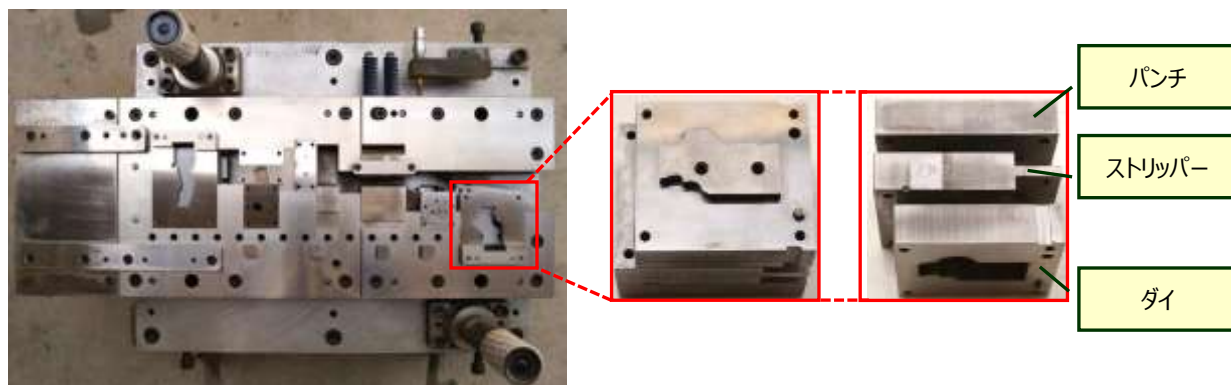
金型のダイとパンチは、加工開始前と終了後でそれぞれ表面の解析を行う。

3次元測定およびパンチ・ダイの表面解析に関しては、あいち産業科学技術総合センターに委託する。

5-2 実施内容および結果

① プレス加工の試し量産実験

当社では、従来から金型の短納期化・他品種少量品対応のためにユニット交換式金型を用いてきた。



ユニット交換式金型

ユニット

図 27. ユニット交換式金型

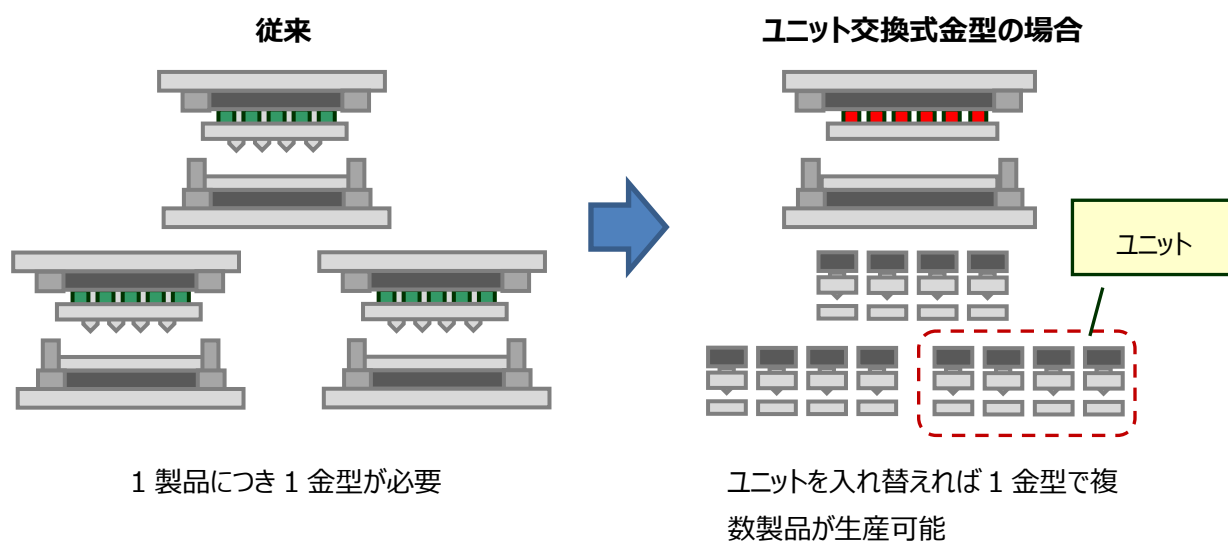


図 28. 短納期化のためのユニット交換式金型の活用方法

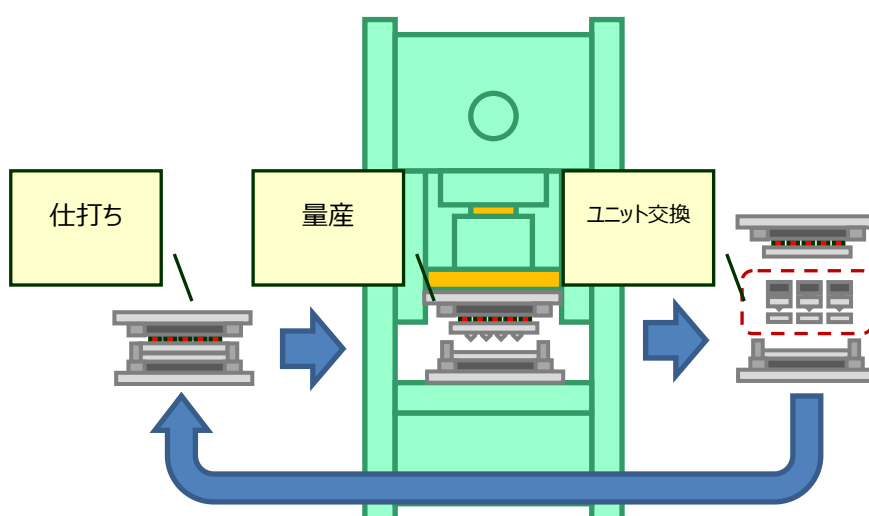


図 29. 他品種少量生産のためのユニット交換式金型の活用方法

ユニット交換式金型は、順送プレス金型の各工程を入れ子式となっているため、金型摩耗時の再研磨や表面処理を容易に行える。

このような特徴を活かし、本研究では、ドライプレスの量産適用の上での課題解決の手段として用いる。本研究では、新たにユニット交換式金型を 3 次元 CAD により設計し、作成した 3 次元データにより、CAE^{※9} 解析を行った。

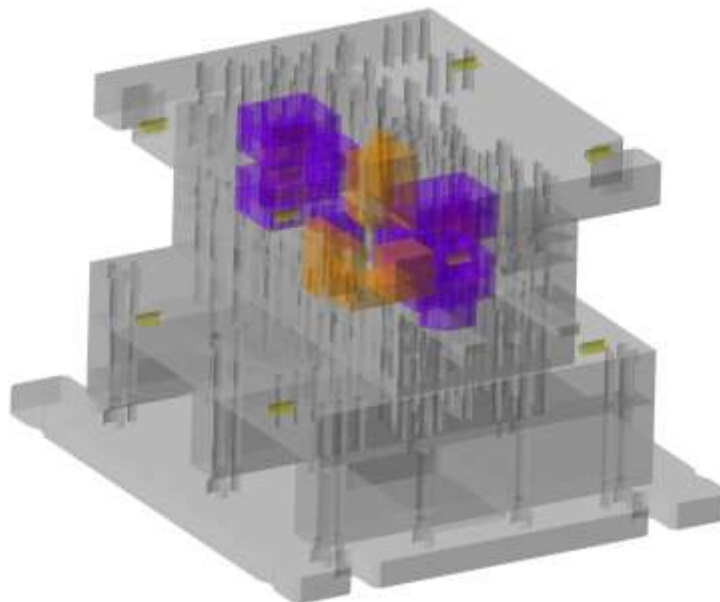


図 30. ユニット交換式金型 3 次元 CAD 図

3 次元 CAD で設計した金型データに加工情報を与えて、プレート毎に CAM を用いて NC データを作成し、マシニングおよびワイヤー放電加工機により金型を製作した。



図 31. ユニット交換式金型

プレス加工の試し量産実験は、本研究のテーマ①～③で得られた研究成果を用いて、ドライプレスの量産実験を行った。ユニット交換式金型に対して、焼き付きの防止対策に関する実験での加工条件で製作したパンチを適用して、①、②に示すドライプレス加工試験を実施した。

- ① パンチに対して T i A l N コーティング処理のみで試し量産
- ② パンチに対して窒化と T i A l N コーティングとの複合処理で試し量産

なお、本研究では、パンチのみに表面処理を行い、ダイは無垢とした。ドライプレス加工実験にあたって、ウチダ製作所のミスト式塗油装置により、パンチ側のみ加工油量をゼロとし、ダイ側は通常加工通り加工油を塗布することで、パンチ側のみドライ環境での実験を行った。

比較のための予備実験として、高温 2 階戻し特殊電源ワイヤー放電加工機で製作 SKD-11 パンチに窒化処理を行わず、T i A l N コーティングのみを行った。



図 32. T i A l N コーティングを行ったパンチ

このパンチを図 33.に示す通り、ユニット交換式金型の上型に実装した。



図 33. ユニット交換式金型 3 次元 CAD 図

100,000ショット時点で、テスト製品にわずかなバリが生じたため、パンチを取り出して観察をした。観察では、パンチ全体にチッピング等は生じていないが、順送プレス加工において特有のマッチング部分が摩耗しており、バリが生じたと考えられる。

マッチングは、パンチに微細な突起を設けて切断を行う部分であることから、加工時のせん断応力の集中を受けやすい部分であり、パンチの他の歯の部分にくらべてチッピングが起こりやすいことが確認できた。

一般的に順送金型には、製品形状を得るために様々なパンチがある。代表的にはパイロット孔等をあけるための丸パンチ、製品形状を切り出すため、サイドカットパンチ、曲げ加工を行う曲げパンチ、製品を分断するための分断パンチがある。

この中では、曲げパンチについては、パンチに対する負荷は少なく、従来の表面処理を行っていれば、ドライプレス環境下においても、摩耗等の問題は発生しにくい。

本研究では、パンチに対して、複合処理を加えて試し量産を行うものとした。

各処理を行う上で、マイクロビッカース硬度計で測定した。また、焼き入れ時の内部応力解放による歪みの発生や、鏡面ショットによる塑性変形、窒化処理による熱変位等の発生がどの程度あるかを確認するために、各工程につき、Keyence 社製 3 次元画像測定機 VR-3000/3200 で形状変化を確認した。

焼き付きの防止対策に関する実験で述べた通り、特殊電源ワイヤー放電加工機にて加工したパンチに対して鏡面ショット処理を実施することでさらに面粗度の向上を行った。

これらのパンチをユニット交換式金型の上型に実装し、ドライ加工実験を開始した。

その結果、研究会開発の目標値の 500,000 ショットを超えて加工が継続できることを確認した。
500,000 ショットの時点で金型からパンチを取りだし、過去開始前と比較観察した。



図 34-1(a). サイドカットパンチ B 加工前(先端)



図 34-1(b). サイドカットパンチ B 加工後(先端)



図 34-2(a). サイドカットパンチ B 加工前(マッチング付近)



図 34-2(b). サイドカットパンチ B 加工後(マッチング付近)

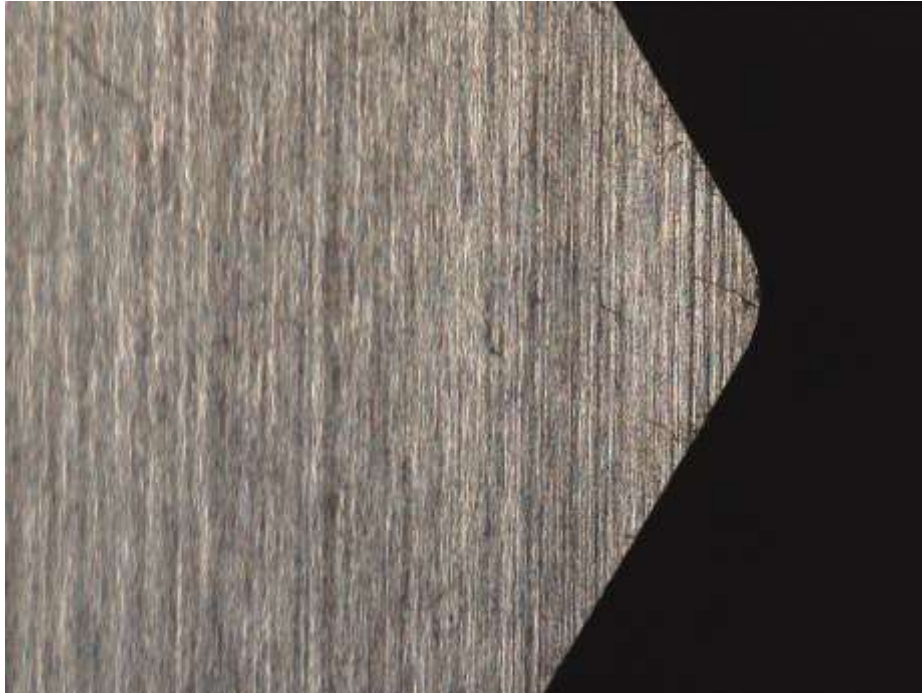


図 35(a). 抜きパンチ B 加工前

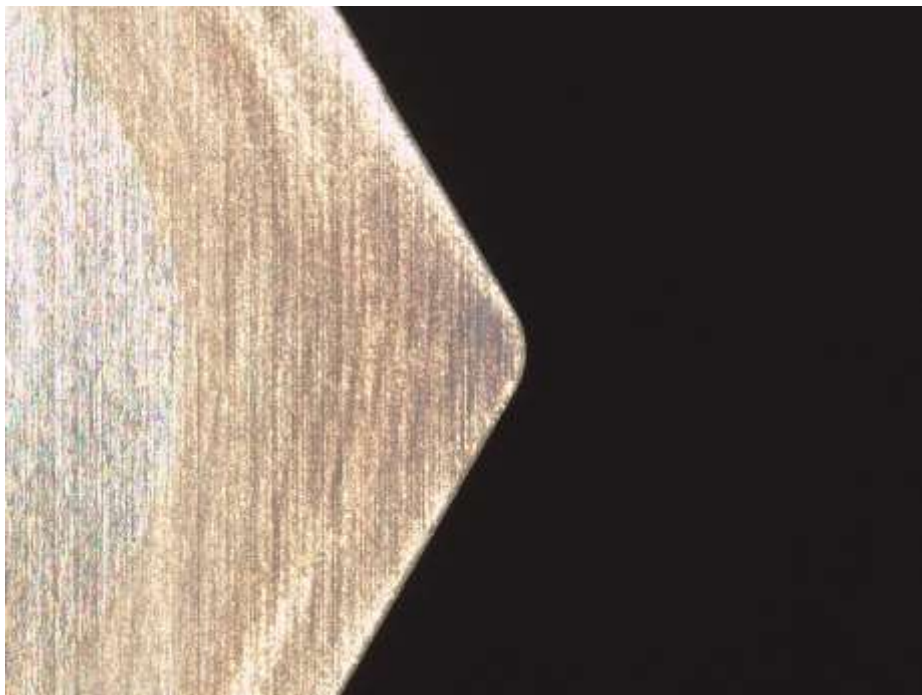


図 35(b). 抜きパンチ B 加工後

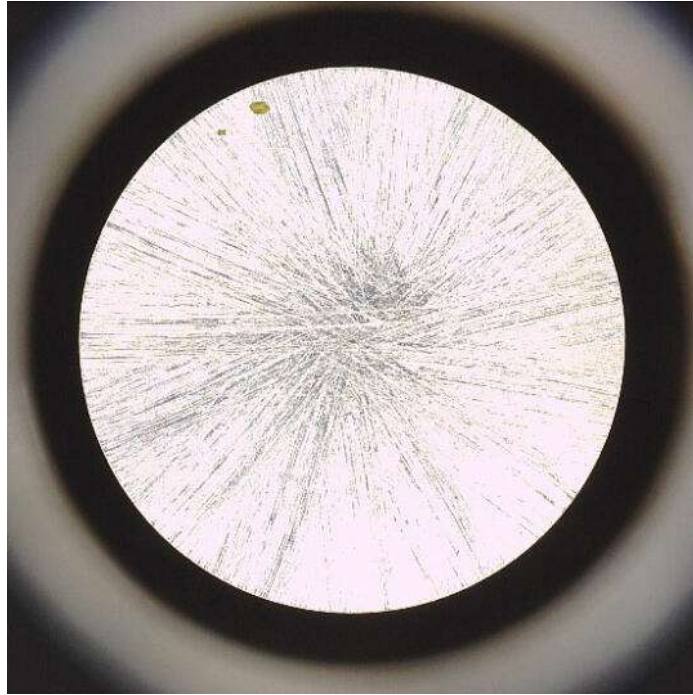


図 36(a). 丸パンチ A 加工前

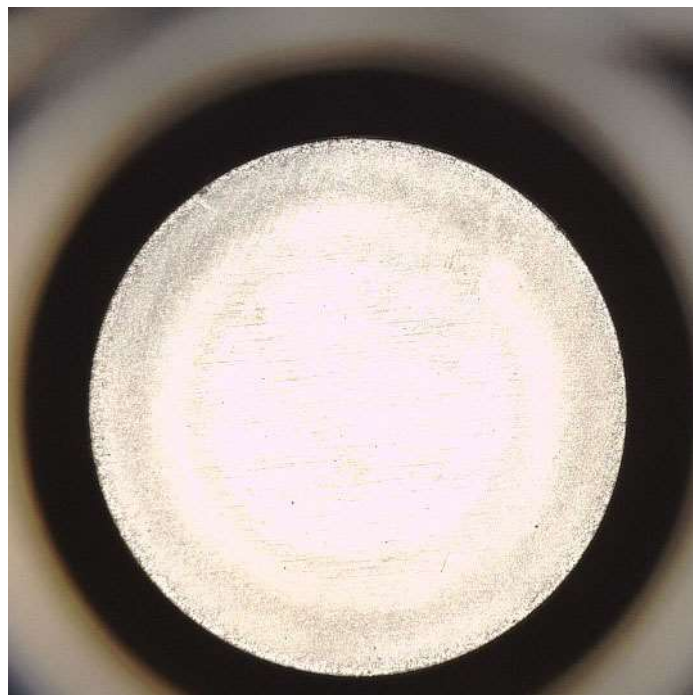


図 36(b). 丸パンチ A 加工後

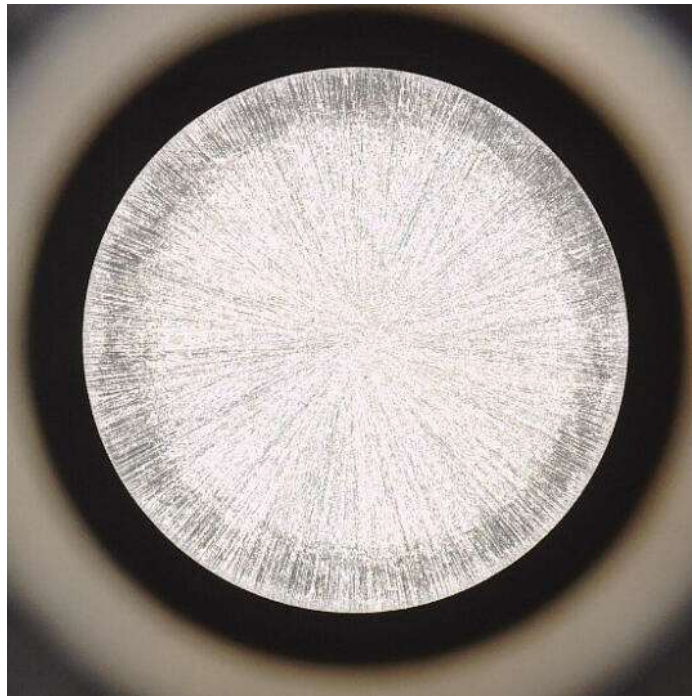


図 37(a). 丸パンチ B 加工前

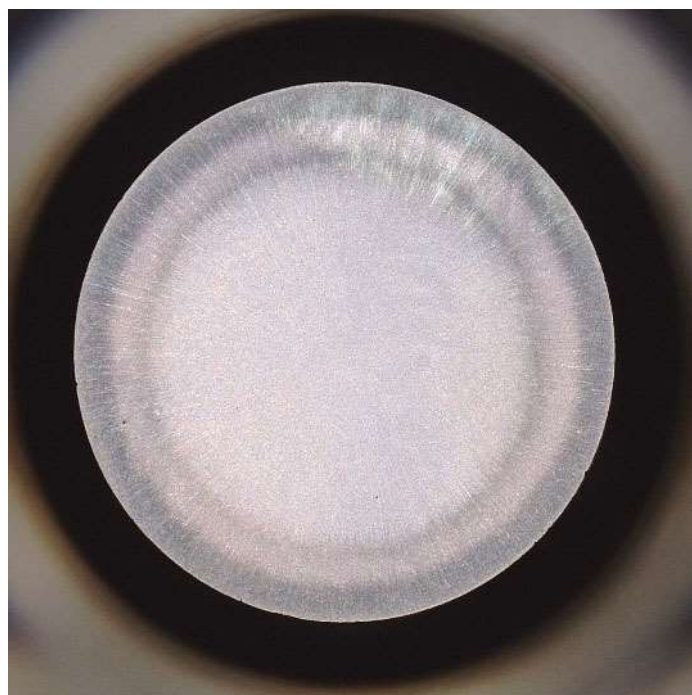


図 37(b). 丸パンチ B 加工後

今後補完研究期間を通じて、継続加工を行うことで加工限界を見極める。

① タップ加工の試し量産実験

ウチダ製作所の現在の主要製品であるサッシブラケットの生産にあたって、タップ加工・プレス加工に関する予備実験を行った。

タップ加工について、ニュートラル窒化処理とウチダ製作所で通常用いているTiNコーティングの複合処理を実施したタップを、自動タッピングマシンに装着し、連続加工を行った。

加工数は、連続加工時に500ショットごとに製品のネジゲージで精度の確認を行った。ネジゲージは研究員の手感で確認する。通常の加工製品と同様に、ネジゲージがスムーズに入らなくなったショット数を加工数とした。

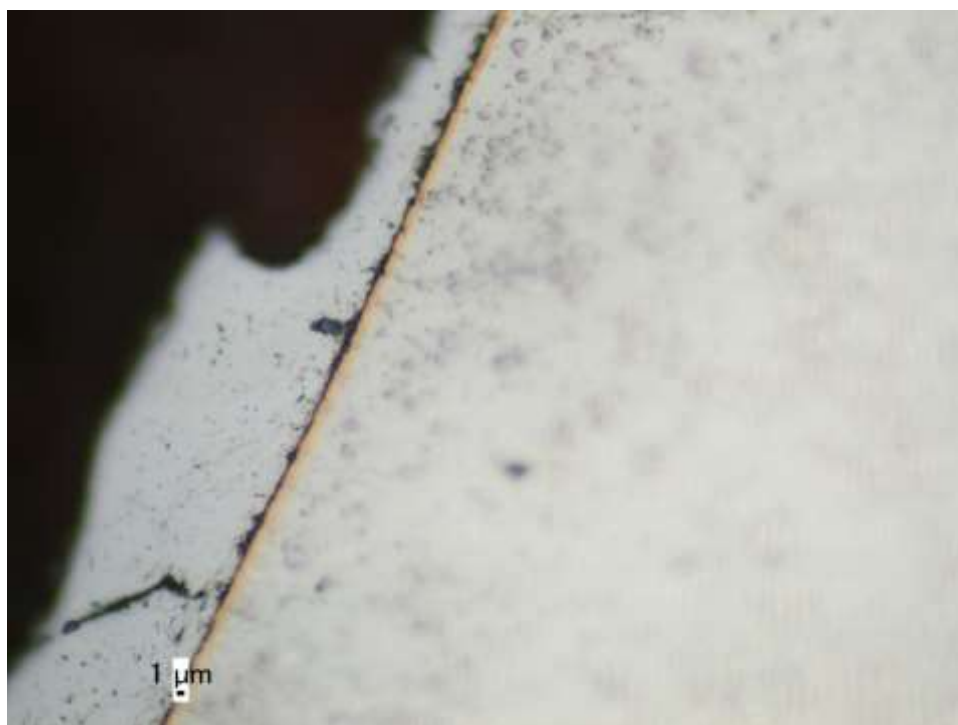


図 38. 金属顕微鏡によるタップねじ山断面 x200 倍

EDS^{※12}で凝着物の成分分析を行ったところ、主成分はFeであった。

タップ加工におけるネジ不良は、タップの表面処理膜が剥離し、タップ山が摩耗することで、発生するのではなく、タップ加工時に発生する微細な鉄粉が、表面処理膜の上に焼結して発生することが確認された。

つまり、タップ表面処理上に鉄粉が焼結する原因は以下であると仮定された。

- ・ 汎用タップの表面は粗く、微細な凹凸があり、摩擦抵抗を高くしていると同時に、ニュートラル窒化処理の効果を妨げている。
- ・ 汎用タップは転造により製作されているため、タップ自身に残留応力が残っており、鉄粉が焼結しやすくなっている。

5-3 研究成果

①プレス加工の試し量産実験

本研究のドライ加工実験では、TiAlNコーティングのみを実施したパンチでは、10万ショット時点で、マッチング形状にチッピングが発生しバリ不良が発生した。イオン窒化、ラジカル窒化、ニュートラル窒化とTiAlNの複合処理を施したパンチでは、研究会開発の目標値の50万ショットを達成し、継続加工可能であることを確認した。

イオン窒化やラジカル窒化を適用したパンチと比較して、ニュートラル窒化処理を適用したパンチに関しては、摩耗が少なく、さらに継続加工が可能である見込みである。

ニュートラル窒化処理は、イオン窒化やラジカル窒化とくらべて、エッジ効果がなく、パンチのエッジやマッチング等の微細形状に対しても、均一な拡散層を形成できる特性があることが、実験結果に寄与したと考えられる。

引き続き補完研究機関を通じて、加工実験を継続し、実験結果の確からしさを向上する。

また、丸パンチだけではなく、サイドカットパンチ、抜きパンチについてもニュートラル窒化処理を行い、他の窒化処理との比較実験を行う。

②タップ加工の試し量産実験

鏡面ショット+ニュートラル窒化処理+TiNの複合加工を行ったタップは、従来のタップより10%程度多く加工ができたことを確認した。

しかしながら、タップ表面には、Feの付着物が依然として発生する傾向がある。

鏡面ショットとニュートラル窒化との複合処理に加えて、Fe付着を抑制することでさらに飛躍的にタップ寿命を延ばせる可能性が残っている。

川下企業からもタップ加工に関する油使用量の低減に関する要望は強くあるため、補完研究機関を通じて、解決を行う。

第 6 章 事業化に向けての取組（株式会社ウチダ製作所）

① ドライプレス加工製品のディビジョンバー・ブラケットへの適用

ウチダ製作所は自動車のドア構造部品であるディビジョンバー・ブラケットの生産に携わっている。

現在は、トヨタ自動車のディビジョンバーのうち 60%以上に当社の製品が使用され、月産で約 200 万個を生産している。



図 39. ディビジョンバーとその構成

ディビジョンバーのサプライチェーンは表 3.の通り。

表 3. ディビジョンバーのサプライチェーン

	担当会社	工程
↑川上	株式会社ウチダ製作所	ディビジョンバーブラケットプレス加工・ねじ切り加工
	株式会社ヒサダ	ロール成形部品組み付け
↓川下	アイシン辰栄株式会社	塗装・防水ゴム組み付け

ディビジョンバーの塗装はアイシン辰栄が行うが、ブラケットに油が付着している場合に、株式会社ヒサダで組み付けを行う際にバーにプレス加工油が付着し、塗装不良の原因となる場合がある。

ディビジョンバー・ブラケットをドライ加工でサンプル提供し、ディビジョンバーの油の付着が発生し、塗装不良が発生しないことを評価していただく。

② ニュートラル窒化処理済みパンチ・ダイのサンプル提供

近年、自動車の軽量化のために、高張力鋼板が用いられることが多くなった。

しかし高張力鋼板は、プレス加工時のパンチ・ダイへの負担が大きく摩耗しやすいため、従来の一般鋼板よりも、金型のメンテナンス費用が高くなってしまふ。

本事業で開発したニュートラル窒化処理は、パンチ・ダイの硬度を高めることができる。

またT i A l N等の表面膜処理の密着性を向上することから、パンチ・ダイの寿命を延ばすことが可能となる。

アイシン辰栄は、塗装以外にシート関連部品ののプレス加工も行っている。

アイシン辰栄の金型のパンチ・ダイにニュートラル窒化処理およびT i A l N等の表面膜処理を行いサンプル品として提供し、評価をしていただく。

①、②の事業化にあたって、従来のパンチ製作方法と本研究事業か時のパンチ製作方法とのコスト評価を行った。

第6章 全体総括

【テーマ①】ニュートラル窒化処理によるTiAlN等の表面皮膜処理の密着性の向上では、硬質薄膜を成膜する前にニュートラル窒化処理をすることが、硬質薄膜と母材の密着力に与える影響を明らかにした。

- 1) 窒素固溶量の増加に伴い、表面硬度が上昇した。
- 2) 電氣的に中性な窒素種に注目したニュートラル窒化により、化合物層の形成を抑制し、試料表面の鏡面性が維持された。
- 3) 表面硬度の上昇に伴い、密着力が向上した。

また、SKH51 試料に前処理としての鏡面ショット処理が、表面性状及びニュートラル窒化による窒化層・硬度へ及ぼす影響について調べた。

- 4) 鏡面ショット処理はいずれの回転数においても、試料表面に塑性変形を及ぼさないことが明らかになった。
- 5) 鏡面ショット処理試料において未ショット試料と比較し、窒化後の硬度および窒化層深さが上昇した。
- 6) 試料においては、窒化後の硬度が未ショット試料を上回った。

以上より、ニュートラル窒化による硬度上昇により、硬質薄膜と母材の硬度差が軽減され、密着力を向上させることができた。

【テーマ②】焼き付きの防止対策に関する実験では、亜鉛配合真鍮線における 7 回カットまでの、最適な加工条件を定めることができた。7 回カット実施時の面粗度は、Ra0.195 μ m となり、研究開発の目標値である Ra0.2 μ m を達成した。12 回カット実施時の面粗度は、Ra0.126 μ m(126nm)となり、研究開発の目標値である Ra0.2 μ m を達成した。これは一般的なワイヤー放電加工の面粗さ加工限界の Ra0.355 μ m よりの 1/3 の面粗さを得られたと評価できる。

また、面粗度が 0.1 μ m となるとワーク表面は半鏡面状となる。この程度の表面粗であれば、一般的なラッピング処理や鏡面ショット追加工することで容易に完全な鏡面を得ることができる。

鏡面ショットマシンで鏡面ショットを行ったところ、5 分以内の処理でパンチの表面を鏡面に仕上げるができることを確認した。

【テーマ③】ニュートラル窒化処理装置の設計・開発ではニュートラル窒化処理装置を用いてニュートラル窒化処理を行うことで、被処理物表面に化合物層を形成せず窒化層を形成出来ることが明らかになった。しかし、本開発では被処理物を試料ホルダ面センターの窒化層を明らかにしたのみであり、ニュートラル窒

化処理装置はエネルギー源からの距離でプラズマ密度が大きく異なるため、大量処理を行うに当たっては、エネルギー源からの距離や設置位置（半径方向）と窒化層の均一性や処理のバラツキの関係を明らかにしなければならない。そのためには、もっと数多くの試料を窒化し評価する必要がある、安定した窒化処理を行うには種々の条件の検討を継続してする必要がある。

3 次開発にはついては、組立・配線が終了し、圧力や温度の制御に問題がないことを確認し、プラズマの生成に成功した。

【テーマ④】実金型の試し量産の実施では、プレス加工の試し量産実験において、T i A l Nコーティングのみを実施したパンチでは、10万ショット時点で、マッチング形状にチッピングが発生しバリ不良が発生したが、イオン窒化、ラジカル窒化、ニュートラル窒化とT i A l Nの複合処理を施したパンチでは、研究会開発の目標値の50万ショットを達成し、継続加工可能であることを確認した。

イオン窒化やラジカル窒化を適用したパンチと比較して、ニュートラル窒化処理を適用したパンチに関しては、摩耗が少なく、さらに継続加工が可能である見込みである。

ニュートラル窒化処理は、イオン窒化やラジカル窒化とくらべて、エッジ効果がなく、パンチのエッジやマッチング等の微細形状に対しても、均一な拡散層を形成できる特性があることが、実験結果に寄与したと考えられる。

引き続き補完研究機関を通じて、加工実験を継続し、実験結果の確からしさを向上する。

また、丸パンチだけではなく、サイドカットパンチ、抜きパンチについてもニュートラル窒化処理を行い、他の窒化処理との比較実験を行う。

タップ加工の試し量産実験において、鏡面ショット+ニュートラル窒化処理+T i Nの複合加工を行ったタップは、従来のタップより10%程度多く加工ができたことを確認した。

しかしながら、タップ表面には、Feの付着物が依然として発生する傾向がある。

鏡面ショットとニュートラル窒化との複合処理に加えて、Fe付着を抑制することでさらに飛躍的にタップ寿命を延ばせる可能性が残っている。

川下企業からもタップ加工に関する油使用量の低減に関する要望は強くあるため、補完研究機関を通じて、解決を行う。

本研究で得られた成果を表 4.にまとめた。

表 4. 本研究の技術的な目標値と達成状況

技術的課題	現行	技術的な目標値	達成状況
【テーマ①】硬度性能の向上に関する実験	T i A l N で 3 0 0 0 H v	ニュートラル窒化処理とチタンコート複合処理で硬度性能を向上	ニュートラル窒化処理により、T i A l N の密着性を約 2 倍まで向上
【テーマ②】焼き付きの防止対策に関する実験	処理面表面粗 Ra10μm 程度	処理面表面粗さ Ra0.2 μm の達成	7 回カットの加工条件で面粗度は、Ra0.195μm を得られた。さらに、鏡面ショットを行うことで、Ra0.09μm まで面粗度を高めることができた。
【テーマ③】ニュートラル窒化処理装置の設計・開発	ワークをケージで囲う必要がある。	ケージでワークを囲う必要なく、大きなワークを多数処理可能。	ケージなしで窒化に成功。
	処理可能ワーク幅 20mm×奥行き 20mm×高さ 100mm	処理可能ワーク幅 150mm×奥行き 150mm×高さ 150mm	処理可能ワーク幅 200mm×奥行き 200mm×高さ 150mm
【テーマ④】実金型の試し量産の実施	メンテナンスなしで 30 万个ドライブプレス加工が可能	メンテナンスなしで 50 万个ドライブプレス加工が可能	メンテナンスなしで 50 万个ドライブプレス加工を達成。
量産性を見据えた最適加工条件の検証	生産性 30 個/分	生産性 40 個/分以上	生産性 50 個/分以上を達成

専門用語等の解説

- ※1. 順送プレス：コイル材を使用し、送り装置でプレス機 1 回転ごとに次の工程へと材料を順次送り、加工する方式
- ※2. S K D - 1 1：金型のパンチ材料として一般的に最も利用される鉄鋼
- ※3. D L C：diamond like carbon は炭化水素・炭素の同素体から成る非晶質の硬質膜。
- ※4. T i A l N：チタンに窒化アルミを加えた表面処理。
- ※5. T i C：チタンにカーボンを加えた表面処理。
- ※6. T i N：窒化チタンによる表面処理。
- ※7. T i C N：窒化チタンにカーボンを加えた表面処理。
- ※8. パンチ、ストリッパ、ダイ：プレス金型において、コイル材を加工するための金型機構。材質は焼き入れした鉄鋼。
- ※9. C A E：Computer Aided Engineering は設計した製品のモデルを使って強度や耐熱性などの特性を計算するコンピューターシミュレーション解析システム
- ※10. T E M：透過型電子顕微鏡(Transmission Electron Microscope)、電子ビームを試料に照射して、透過してきた電子を結像して観察を行う電子顕微鏡。
- ※11. サーボプレス：サーボモータで駆動し、加工速度・加工位置・加圧力を任意に設定できるプレス機。
- ※12. E D S … エネルギー分散型 X 線分析 (Energy dispersive X-ray spectrometry) X 線を試料に照射し、発生する特性 X 線をエネルギー分散型検出器にて検出し、エネルギーと強度から、物体を構成する元素と濃度を調べる元素分析する方法。