

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「高硬度ハイテンションボルトの精密転造加工を可能とする平ダイス製造技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成23年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人岐阜県作業経済振興センター

目 次

第1章 研究開発の概要

- (1) 研究開発の背景・研究目的及び目標・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
- (2) 研究体制(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)・・・・・・・・ 2
- (3) 成果概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
- (4) 当該プロジェクト連絡窓口・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6

第2章 本論

〔転造ダイスの加工方法課題への対応〕

- (1) 転造ダイス加工用クラッシングユニットの最適化に関する研究・・・・・・・・ 7
- (2) 高硬度金型研削用工具および最適加工条件の高度化・・・・・・・・ 14

〔転造ダイスの評価等に係る課題への対応〕

- (3) 転造ダイス用試作高硬度材料特性の評価・・・・・・・・・・・・・・・・ 16
- (4) 転造ダイスのシミュレーションによる応力解析・・・・・・・・・・・・ 17
- (5) 試作転造ダイスの実機搭載によるネジ転造耐久性評価・・・・・・・・ 18
- (6) 転造ダイスの表面改質によるネジ転造耐久性評価およびすべり防止性能の検証・・・ 20

第3章 全体総括・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 21

第1章 研究開発の概要

(1) 研究開発の背景・研究目的及び目標

1) 研究の背景

自動車産業では環境への配慮から部材の軽量化が要求されており、その一環としてボルト・ネジ類のダウンサイズ化が川下製造業者のニーズとなっている。ボルト・ネジ類におけるダウンサイズ化の必要条件是、小径化しながら、締結強度を維持することであるために、ボルト・ネジ類の強度特性を従来以上に高める必要が生じてきている。しかしながら、ボルト素材の硬度が大きくなるのに従い、ボルト・ネジ成形用の転造用ダイス(金型)に加わる応力が増大し、局部的な破損や早期摩耗が生じるため、ダイスの寿命が低下する。その結果、ダイスの交換、再研磨・メンテナンスのためのデッドタイムが増加し、生産性の低下等からコスト増につながっているのが現状である。

これらの課題に対応するために、高強度型材の選択や、熱処理による強度維持等が行われているが、素材硬度に対する要求が高まる現状では、従来の金型鋼材(ダイス鋼)では対処できなくなっている。

2) 研究の目的

本研究は、自動車産業で使用される高硬度のハイテンションボルト(HRC45級)を製造するために、ダイス鋼以上の硬度を有する超高硬度材料(HRC67)を型材に用いて、転造ダイスの製造技術の確立を図るものである。

これらの技術の確立のために、高剛性の研削盤にかかる各種研削装置の研究開発と研削砥石の活用を進めながら、JIS規格にそったねじ転造平ダイスを、砥石への刃形転写のためのクラッシングロールの開発や、最適な固定ダイスにかかる「固定ダイスの食いつき部分」の解析等を行うことで、高品質で低コストに製造することを目標とする。

3) 研究の概要

自動車産業分野では地球環境への配慮を背景に、各種部材等の軽量化が進められており、それにともなってボルト類のダウンサイズ化と低コスト化が求められている状況である。この課題に対応するためには、ボルト素材の高強度化及び品質精度向上を図る必要があるが、高硬度材料を活用した転造ダイスが不可欠となることから、本研究ではハイテンションボルトを製造する転造ダイス用金型製造技術の研究開発を行う。

【実施内容】

〔転造ダイスの加工方法課題への対応〕

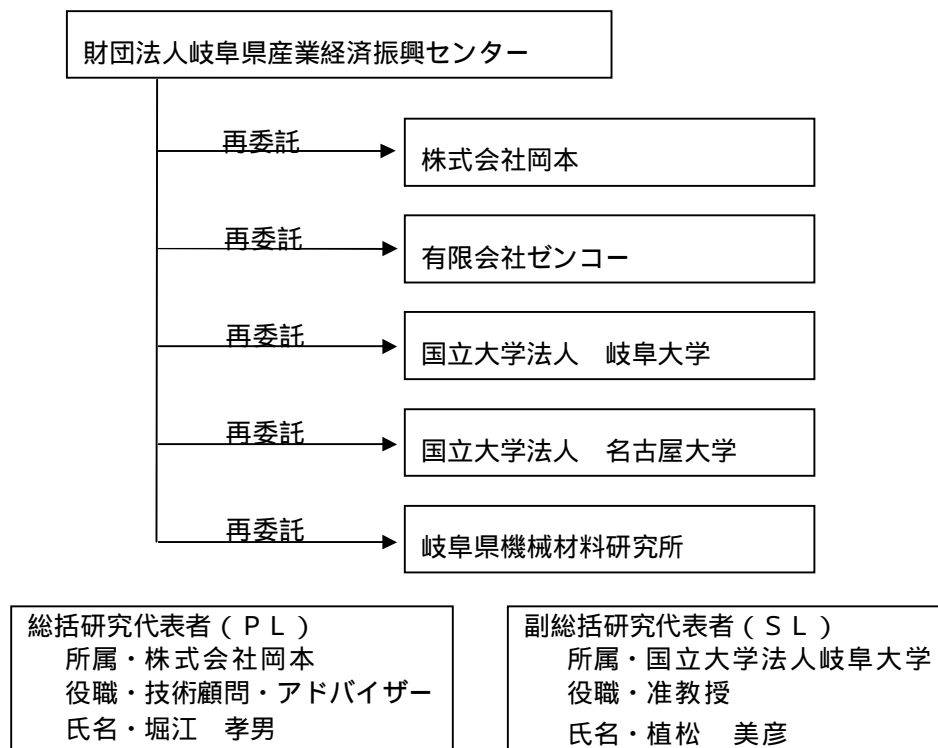
- (1) 転造ダイス加工用クラッシングユニットの最適化に関する研究
- (2) 高硬度金型研削用工具および最適加工条件の高度化

〔転造ダイスの評価に係る課題への対応〕

- (3) 転造ダイス用試作高硬度材料特性の評価
- (4) 転造ダイスのシミュレーションによる応力解析
- (5) 試作転造ダイスの実機搭載によるネジ転造耐久性評価
- (6) 転造ダイスの表面改質によるネジ転造耐久性評価およびすべり防止性能の検証

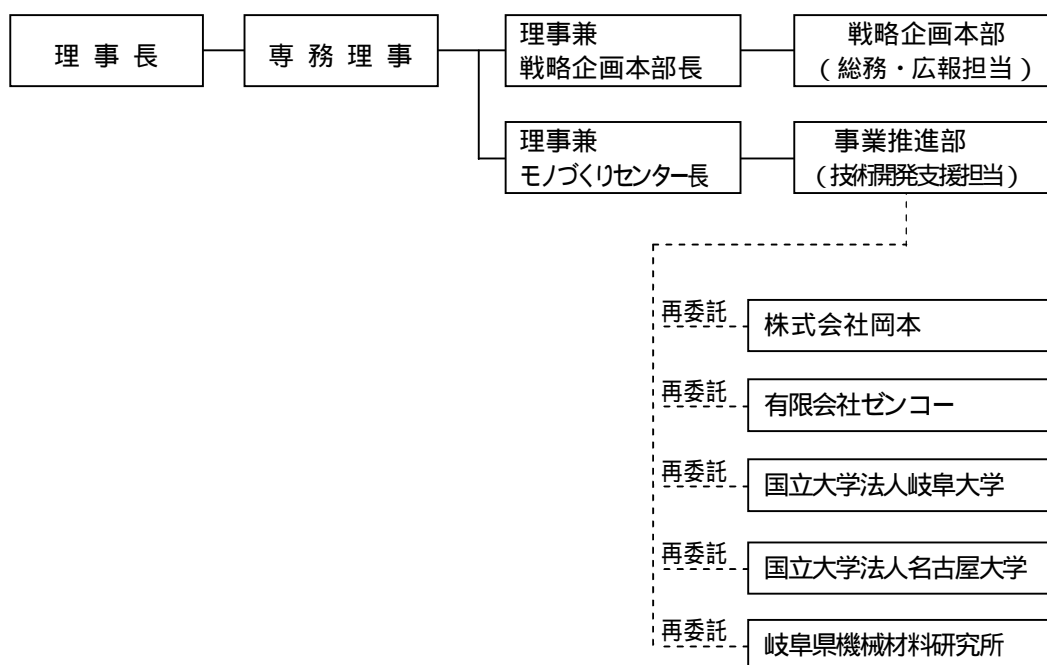
(2) 研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

1) 研究組織 (全体)



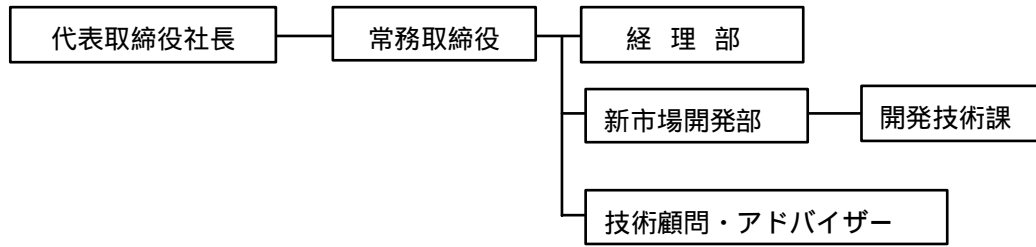
2) 管理体制

事業管理者 財団法人岐阜県産業経済振興センター

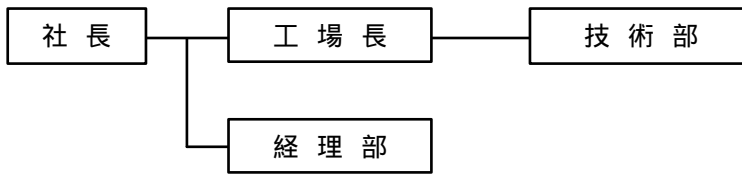


(再委託先)

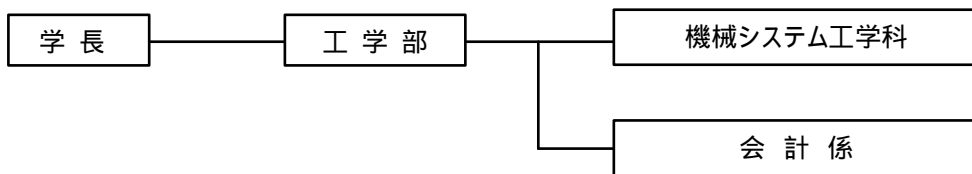
株式会社岡本



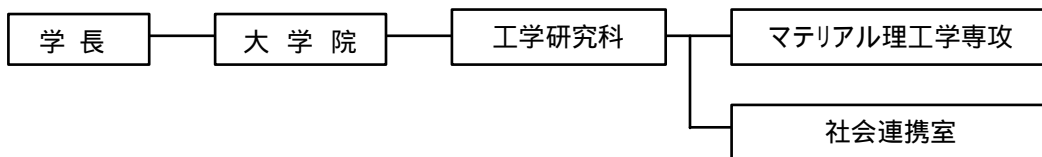
有限会社ゼンコー



国立大学法人岐阜大学



国立大学法人名古屋大学



岐阜県機械材料研究所



3) 管理員及び研究員

【事業管理者】 財団法人岐阜県産業経済振興センター

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容(番号) |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------|
| 砂田 博 服部 清 浅井 博次 森岡 裕充 苅谷 真男 | モノづくりセンター長 事業推進部 部長 事業推進部 主査 事業推進部 管理員 戦略企画本部 主任 | プロジェクトの管理 ・運営 |

【再委託先】

株式会社岡本

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容(番号) |
|----------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 堀江 孝男 西垣 功一 若原 正敏 須田 貴志 | 技術顧問・アドバイザー 新市場開発部 課長 新市場開発部 新市場開発部 | 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 、 |

有限会社ゼンコー

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容(番号) |
|---------------|----------------|----------|
| 松林 興 後藤 久雄 | 代表取締役社長 工場長 | 、 、 |

国立大学法人岐阜大学

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容(番号) |
|-------|------------------|----------|
| 植松 美彦 | 工学部機械システム工学科 准教授 | 、 |

国立大学法人名古屋大学

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容(番号) |
|----------------|-------------------------------------------------|----------|
| 石川 孝司 湯川 伸樹 | 大学院工学研究科マテリアル理工学専攻 教授 大学院工学研究科マテリアル理工学専攻 准教授 | |

岐阜県機械材料研究所

| 氏名 | 所属・役職 | 実施内容(番号) |
|-----------------|--------------------------|------------|
| 柴田 英明 水谷 予志生 | 金属材料研究部 部長 金属材料研究部 主任 | 、 、 、 、 |

実施内容番号は第1章(1)記載の研究項目番号による

(3) 成果概要

転造ダイスの加工方法課題への対応

(1) 転造ダイス加工用クラッシングユニットの最適化に関する研究

高剛性かつ精密な歯付研削が可能な研削装置を研削盤メーカーと共に開発した。(高剛性精密平面研削盤)また同時に、この研削盤に装着して歯付研削を行う為のクラッシングロール成形工具の設計・製作を行った。

この高剛性精密平面研削盤、クラッシングロールを用いて、金型(ダイス)への歯部転写連続加工試験を行った。クラッシングロールの磨耗による歯部寸法精度の低下を確認したが、連続金型製作本数3、4本程度で規格の寸法範囲を超えてしまった。

このため、開発した高剛性研削盤を改造して、ダイヤモンドロータリッドレッサーユニットを導入した。クラッシングロールでの粗加工、ダイヤモンドロータリッドレッサーでの仕上げ加工を併用することにより、加工精度の維持向上と品質の安定化が図れた。これにより10本連続金型製作が可能になった。

最終年度に、ねじ歯型形状が小さくかつ成形精度の確保が困難とされる小径ネジM5ピッチ=0.5への適応を目指した。これまでの研究よりクラッシングロール(粗加工)、ダイヤモンドロータリッドレッサー(仕上げ)を併用することで、クラッシングロールで金型10本連続製作が可能になり、加工精度の維持向上が図れた。

(2) 高硬度金型研削用工具および最適加工条件の高度化

高硬度材料加工に適した研削用砥石を選定するために、クラッシングロールから各砥石へ歯部転写、歯部転写された砥石から金型への歯部転写試験を行った結果、転写状態とコスト面から、GC砥石が好適であることがわかった。

金型製作加工時間は、開発した高剛性精密平面研削盤を用いることにより、従来研削盤105分から60分へと、約50%時間短縮できた。

小径ネジにおいても加工精度向上を図るために、研削砥石粒度、加工条件を見直した。研削砥石粒度を細かくして、ドレッサー加工条件を見直したが、金型歯面に焼付きが発生してしまい、従来から採用している研削加工砥石で仕上げ回数を増やすことで加工精度維持と品質の安定化を図った。

転造ダイス評価等に係る課題への対応

(3) 転造ダイス用試作高硬度材料特性の評価

本研究で使用する高硬度材料(STARK)の物性データを把握して、ダイスの耐久性の目安とした。また、ピンオンディスク摩耗試験装置によりSTARKとハイテンションボルトに用いられるSCM材との摩擦摩耗試験を実施し、STARKとSCM材との耐摩耗性の差がハイス鋼より大きい。STARKディスクはほとんど摩耗せず、SCMピンがハイス鋼の時よりも激しく摩耗した。このように、耐摩耗性におけるSTARKの優位性が明確となった。

(4) 転造ダイスのシミュレーションによる応力解析

三次元有限要素解析をねじ転造加工に用いて、材料の変形挙動およびダイスに加わる負荷の傾向を調査した。ダイス面圧はダイス突起先端および突起側面、とくに固定ダイスの食いつき部末端で高くなる傾向があることがわかった。その結果、ダイスの面圧分布からダイス摩耗箇所の予測をすることができた。

(5) 試作転造ダイスの実機搭載によるネジ転造耐久性評価

STARKと従来材の転造ダイスのネジ転造耐久性評価を行い、比較検討を行った結果、ハイテンションボルトのような硬度の高い素材を転造するためには、より硬度の高い転造ダイスが必要となることが確認できた。特に、STARKによる転造ダイスのネジ転造本数は、ハイス鋼による転造ダイスのネジ転造本数と比べて同等数以上となり、ハイス鋼と同等以上の耐久性を有する転造ダイスが試作できていることがわかった。

(6) 転造ダイスの表面改質によるネジ転造耐久性評価およびすべり防止性能の検証

STARKを用いて試作した転造ダイスの歯面に表面改質を施して、転造ダイスの長寿命化への効果を検討するために、ネジ転造試験を行った。ショットブラストした転造ダイスは、通常の転造ダイスと比べて、転造本数が1.2倍以上となった。また、窒化処理を施した転造ダイスは、STARK(標準品)の2.6倍、B社製転造ダイスの約1.5倍の耐久性を記録した。

(4) 当該プロジェクト連絡窓口

財団法人岐阜県産業経済振興センター

(最寄り駅：JR東海道旅客鉄道「西岐阜駅」)

〒500-8505 岐阜県岐阜市数田南5丁目14番53号

担当：モノづくりセンター 事業推進部 浅井 博次

TEL: 058-277-1093 FAX 058-273-5961 E-mail: asai@gpc-gifu.or.jp

第2章 本論

〔転造ダイスの加工方法課題への対応〕

(1) 転造ダイス加工用クラッシングユニットの最適化に関する研究

(目的)

高剛性研削盤による金型(転造ダイス)への歯形創生加工において、高精度で且つ高効率に転造ダイスを加工するためのクラッシングロールを開発する。

(1) - 1 クラッシングロール成形用工具の製作

(試験方法)

クラッシングロールを成形するための基となるクラッシングロール成形用工具について、設計、製作を行った。製作した工具の歯型形状は、金型(ダイス)への転造加工する上で重要なポイントとなる為、歯部形状をコンターレコード[東京精密製1700D X](図1-1)で輪郭計測し製作図面と比較検査を行った。(対象サイズ:P0.7,P0.8,P1.0,P1.25,P1.5,P1.75)



図 1-1 コンターレコード

(結果及び考察)

製作用図面を基に製作した P1.25 用クラッシングロール成形用工具(図 1-2)をコンターレコードで歯部の形状測定を行った結果、設計値を満たしていることがわかった。同様に製作した各ピッチ(P0.7,P0.8,P1.0,P1.5,P1.75)のクラッシングロール成形用工具においても歯部形状は設計値を満たしていることが確認できた。



図 1-2 クラッシングロール成形用工具

(1) - 2 クラッシングロール成形用工具から砥石、砥石からクラッシングロールへの形状転写加工
 (試験方法)

今回開発した高剛性精密平面研削盤（岡本工作機械製作所製 PSG84DNC：図 1-3）を用いて、クラッシングロール成形用工具から砥石への転写加工を行い、この砥石によりクラッシングロールへの転写加工を実施する。



図 1-3 高剛性精密平面研削盤

(結果)

歯部形状測定結果および基準値との寸法測定比較結果を表 1-1 に示す。図 1-4、表 1-1 より、歯部形状は寸法範囲内の製作確認ができた。一部寸法値（A、C、D寸法）に 1/1000 台の差異は見られるが、これらは測定誤差と判断できる。

表 1-1 歯部形状寸法比較

| | 基準値 | 測定値 | 平均 |
|---|--------|--------------------------------------|---------|
| A | 0.1718 | 0.1632 0.1653 | 0.1643 |
| B | 0.125 | 0.1205 0.1186 | 0.1200 |
| C | 60 | 59.6152 59.8389 | 59.7271 |
| D | 60 | 59.7262 59.616 | 59.6711 |
| E | 0.7858 | 0.7869 0.7866 0.7857 0.7858 | 0.7863 |
| F | 1.25 | 1.2493 | 1.2493 |

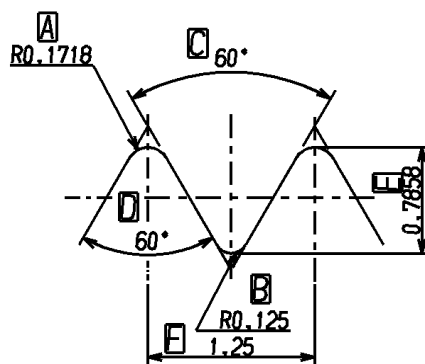


図 1-4 基準溝形状

(1) - 3 クラッシングロールから金型加工用砥石、金型加工用砥石から金型への形状転写加工
(試験方法)

クラッシングロールから砥石への歯部転写、砥石から金型(ダイス)への歯部転写を行い金型製作した。(図1-5)

クラッシングロールによる繰り返し転写加工は、クラッシングロール歯部への負荷が大きく、歯部形状が磨耗するため、寸法精度は低下して行く。このため、金型への歯部転写加工を継続して行うことで、寸法精度の低下状態を観察した。

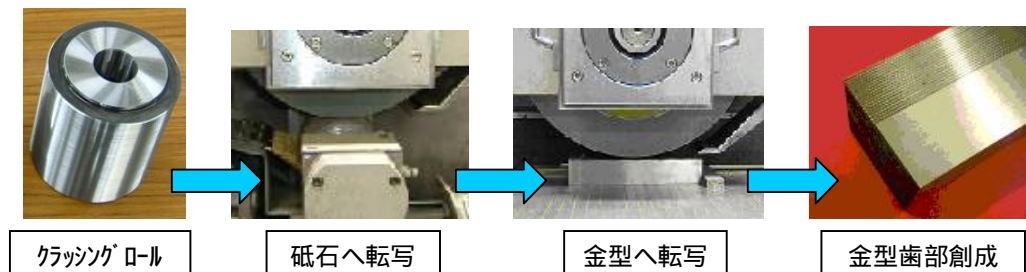


図 1-5 金型製作の流れ

(結果及び考察)

連続して10本金型への歯付加工を実施した時の歯部形状を表1-2に示す。
(1本、5本、10本目抜粋)

表 1-2 連続加工による歯部形状寸法比較

| | | | | | | | |
|---|--------|-------------------------------------|---------|--------------------------------------|---------|------------------------------------|---------|
| A | 0.1718 | 0.1617 0.1649 | 0.1633 | 0.1582 0.161 | 0.1596 | 0.153 0.1536 | 0.1533 |
| B | 0.125 | 0.1183 0.1209 0.12 | 0.1197 | 0.1288 0.127 0.1277 | 0.1278 | 0.1257 0.1272 0.1262 | 0.1264 |
| C | 60 | 59.4321 59.7057 | 59.5689 | 58.8234 58.7894 | 58.8064 | 58.5763 58.0489 | 58.3126 |
| D | 60 | 59.5614 59.4364 | 59.4989 | 59.1184 58.7642 | 58.9413 | 58.5034 58.3508 | 58.4271 |
| E | 0.7858 | 0.7774 0.7756 0.778 0.7779 | 0.7772 | 0.7771 0.7759 0.7759 0.7783 | 0.7768 | 0.776 0.7757 0.777 0.7755 | 0.7761 |
| F | 1.25 | 1.252 | 1.252 | 1.2537 | 1.2537 | 1.2465 | 1.2465 |

金型 10 本製作時の金型歯部形状 C 寸法（抜粋）の変化傾向を図 1-6 に示す。
 （グラフ中の薄青色範囲は、JIS B 4502 転造平ダイス寸法範囲）

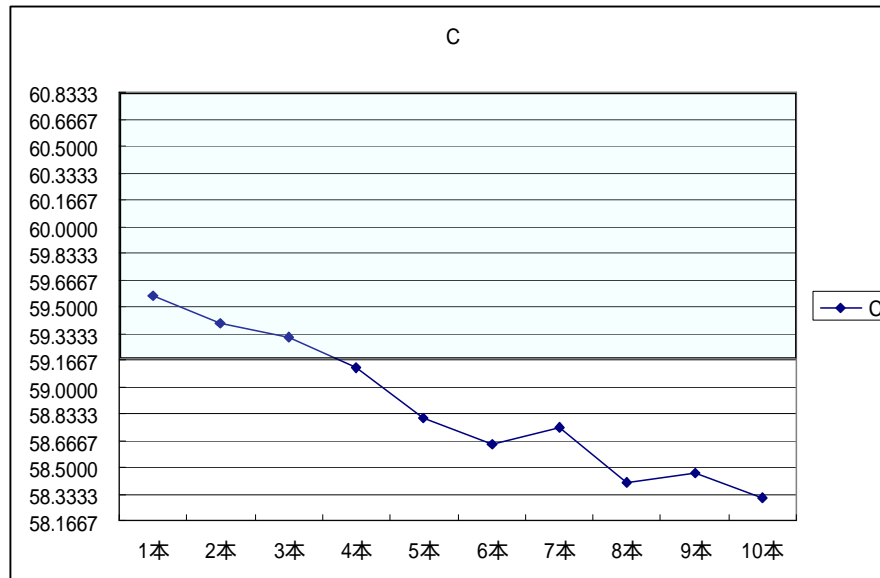


図 1-6 歯部形状 C 寸法の変化：抜粋

今回、クラッシングロールから砥石への歯部転写、砥石から金型への歯部転写を繰り返し行い、金型を連続 10 本製作した。初品から 3 本目までは、JIS B 4502 転造平ダイス規格の寸法範囲内に入っており、それ以降はクラッシングロールの磨耗による寸法精度の低下から規格値を超えた。

(1) - 4 ダイヤモンドロータリッドレッサーとの併用化の検討
 (目的)

前項(1)-3 クラッシングロールから金型加工用砥石、金型加工用砥石から金型への形状転写加工の結果から、クラッシングロールの寿命を伸ばすために、高剛性精密平面研削盤を改造（図 1-7）して、ダイヤモンドロータリッドレッサー駆動装置を開発、設置し、クラッシングロールとダイヤモンドロータリッドレッサーの併用化を試みた。

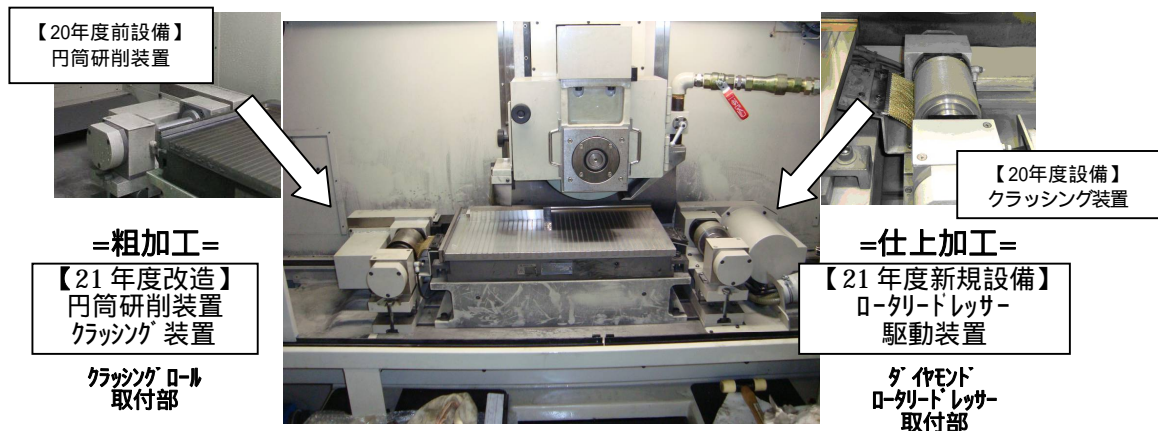


図 1-7 高剛性精密平面研削盤の改造

(試験方法)

粗加工には、クラッシングロールを用い、また仕上げ加工は、ダイヤモンドロータリードレッサーを対応させた。図 1-8～9 にそれぞれの加工工程の流れを示す。

クラッシングロールで転写加工された金型歯部形状をコンターレコードで輪郭計測し、次にダイヤモンドロータリードレッサーで転写加工された金型歯部形状を輪郭計測する。この流れを連続 10 回行い、それぞれの工程での歯部寸法精度の低下状況を観察した。

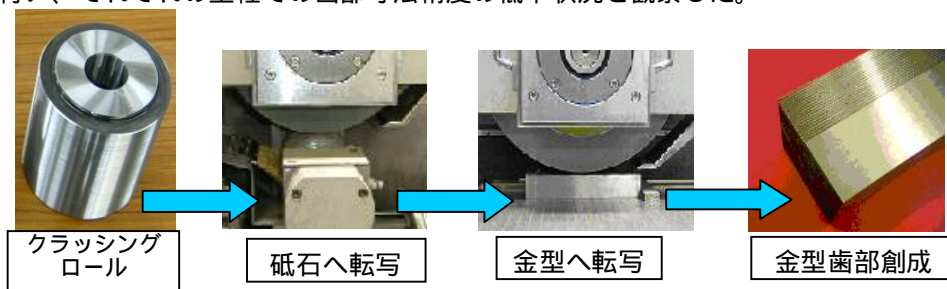


図 1-8 粗加工の流れ

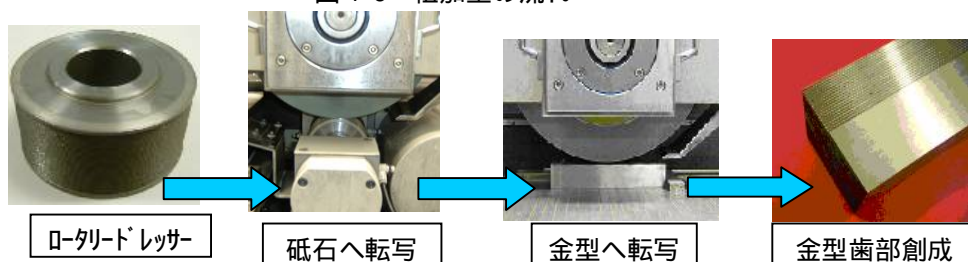


図 1-9 仕上げ加工の流れ

(結果 1) クラッシングロールでの粗加工

連続して 10 本金型への歯付加工を実施した時の歯部形状より得られた値を表 1-3 に示す。
(1 本、5 本、10 本目抜粋)

表 1-3 連続加工による歯部形状寸法比較 (クラッシングロール)

| | 基準値 | 1本目 | | 5本目 | | 10本目 | |
|---|--------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| | | 測定値 | 平均 | 測定値 | 平均 | 測定値 | 平均 |
| A | 0.1718 | 0.164 | 0.1620 | 0.158 | 0.1578 | 0.152 | 0.1518 |
| | | 0.163 | | 0.156 | | 0.153 | |
| | | 0.161 | | 0.156 | | 0.149 | |
| | | 0.16 | | 0.161 | | 0.153 | |
| B | 0.125 | 0.12 | 0.1220 | 0.124 | 0.1243 | 0.126 | 0.1270 |
| | | 0.121 | | 0.125 | | 0.129 | |
| | | 0.124 | | 0.125 | | 0.126 | |
| | | 0.123 | | 0.123 | | 0.127 | |
| C | 60 | 59.567 | 59.4955 | 59.248 | 59.1300 | 58.154 | 58.0490 |
| | | 59.424 | | 59.012 | | 57.944 | |
| D | 60 | 59.392 | 59.3230 | 59.338 | 59.3090 | 58.214 | 58.2795 |
| | | 59.254 | | 59.28 | | 58.345 | |
| E | 0.7858 | 0.776 | 0.7755 | 0.771 | 0.7715 | 0.767 | 0.7665 |
| | | 0.775 | | 0.772 | | 0.766 | |
| | | 0.776 | | 0.772 | | 0.767 | |
| | | 0.775 | | 0.771 | | 0.766 | |
| F | 1.25 | 1.25 | 1.25 | 1.248 | 1.248 | 1.247 | 1.247 |

(結果2) ダイヤモンドロータリッドレサラーでの仕上加工

連続して10本金型への歯付加工を実施した時の歯部形状より得られた値を表1-4に示す。
(1本、5本、10本目抜粋)

表 1-4 連続加工による歯部形状寸法比較(ロータリッドレサラー)

| | 基準値 | 1本目 | | 5本目 | | 10本目 | |
|---|--------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| | | 測定値 | 平均 | 測定値 | 平均 | 測定値 | 平均 |
| A | 0.1718 | 0.177 | 0.1755 | 0.18 | 0.1773 | 0.177 | 0.1798 |
| | | 0.176 | | 0.175 | | 0.182 | |
| | | 0.175 | | 0.177 | | 0.181 | |
| | | 0.174 | | 0.177 | | 0.179 | |
| B | 0.125 | 0.114 | 0.1138 | 0.113 | 0.1130 | 0.116 | 0.1158 |
| | | 0.113 | | 0.114 | | 0.115 | |
| | | 0.114 | | 0.112 | | 0.117 | |
| | | 0.114 | | 0.113 | | 0.115 | |
| C | 60 | 60.127 | 60.1575 | 60.067 | 60.1360 | 60.046 | 59.9550 |
| | | 60.188 | | 60.205 | | 59.864 | |
| D | 60 | 60.017 | 60.1605 | 60.455 | 60.2105 | 59.974 | 59.9505 |
| | | 60.304 | | 59.966 | | 59.927 | |
| E | 0.7858 | 0.781 | 0.7813 | 0.78 | 0.7800 | 0.778 | 0.7813 |
| | | 0.781 | | 0.779 | | 0.778 | |
| | | 0.782 | | 0.781 | | 0.789 | |
| | | 0.781 | | 0.78 | | 0.78 | |
| F | 1.25 | 1.249 | 1.249 | 1.252 | 1.252 | 1.253 | 1.253 |

結果1および結果2のグラフ化したものを図1-10に示す。(歯部形状C寸法抜粋)
(グラフ中の薄青色範囲は、JIS B 4502 転造平ダイス寸法範囲)

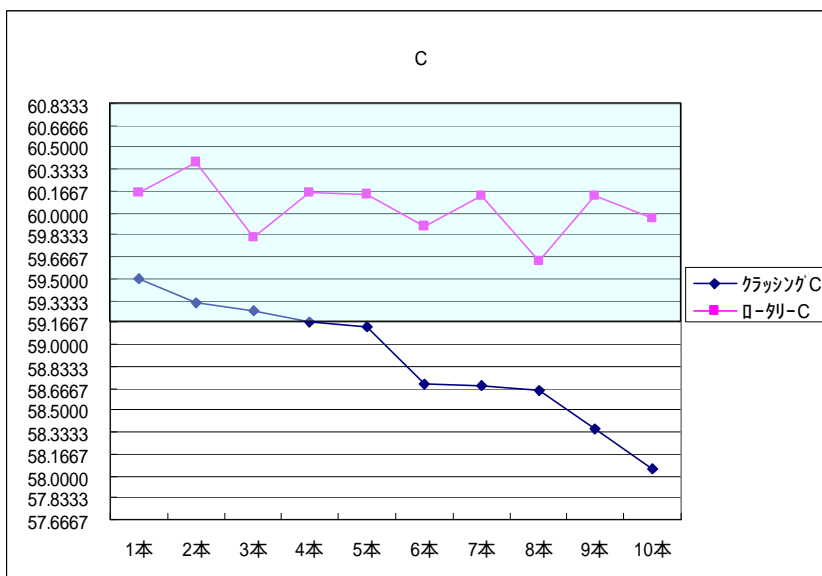


図 1-10 歯部形状 C 寸法の変化：抜粋
(クラッシング、ロータリッド併用)

(考察)

クラッシングロールでの粗加工の経緯をみると、連続で金型3本程度までしか寸法を維持することができなかったが、ダイヤモンドロータリッドレサラーでの仕上加工を併用することにより、加工精度を維持することが可能となり、クラッシングロールで金型10本の製作が可能になった。

(1) - 5 小径ネジ転造ダイス加工用クラッシングユニットの長寿命化に関する検討

(目的)

小径ネジにおいても、クラッシングロール(粗加工)、ダイヤモンドロータリードレッサー(仕上げ加工)を併用させ、金型の歯型形状加工試験を実施する。

金型の歯型形状を形状測定機により測定して加工形状精度を観察するとともに、クラッシングロールの寿命を確認する。

(試験方法)

粗加工はクラッシングロールを用い、また、仕上げ加工にダイヤモンドロータリードレッサーを対応させた。

クラッシングロールで転写加工された金型歯部形状をコンターレコードで輪郭計測し、次にダイヤモンドロータリードレッサーで転写加工された金型歯部形状を輪郭計測する。この流れを連続10回行い、それぞれの工程での歯部寸法精度の低下状況を観察した。

(結果1) クラッシングロールでの粗加工

連続して10本金型への歯付加工を実施した時の歯部形状より得られた値を表1-5に示す。

(1本、5本、10本目抜粋)

表1-5 連続加工による歯部形状寸法比較(クラッシングロール)

| | 基準値 | 1 | | 5 | | 10 | |
|---|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 測定値 | 平均 | 測定値 | 平均 | 測定値 | 平均 |
| A | 0.068 | 0.066 | 0.065 | 0.063 | 0.062 | 0.06 | 0.057 |
| | | 0.066 | | 0.063 | | 0.055 | |
| | | 0.064 | | 0.062 | | 0.058 | |
| | | 0.065 | | 0.061 | | 0.056 | |
| B | 0.053 | 0.066 | 0.064 | 0.07 | 0.068 | 0.071 | 0.072 |
| | | 0.062 | | 0.068 | | 0.075 | |
| | | 0.063 | | 0.069 | | 0.072 | |
| | | 0.066 | | 0.064 | | 0.07 | |
| C | 60 | 59.686 | 59.929 | 61.241 | 61.392 | 62.717 | 62.672 |
| | | 60.172 | | 61.542 | | 62.626 | |
| D | 60 | 60.184 | 59.911 | 61.226 | 61.286 | 62.829 | 62.790 |
| | | 59.637 | | 61.345 | | 62.751 | |
| E | 0.312 | 0.32 | 0.320 | 0.303 | 0.305 | 0.294 | 0.296 |
| | | 0.319 | | 0.306 | | 0.299 | |
| | | 0.319 | | 0.302 | | 0.292 | |
| | | 0.321 | | 0.309 | | 0.297 | |
| F | 0.5 | 0.502 | 0.502 | 0.5 | 0.500 | 0.499 | 0.499 |

(結果2) ダイヤモンドロータリードレッサーでの仕上げ加工

連続して10本金型への歯付加工を実施した時の歯部形状より得られた値を表1-6に示す。

(1本、5本、10本目抜粋)

表1-6 加工による歯部形状寸法比較(ロータリードレッサー)

| | 基準値 | 1 | | 5 | | 10 | |
|---|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 測定値 | 平均 | 測定値 | 平均 | 測定値 | 平均 |
| A | 0.068 | 0.067 | 0.067 | 0.067 | 0.068 | 0.069 | 0.068 |
| | | 0.065 | | 0.067 | | 0.068 | |
| | | 0.069 | | 0.067 | | 0.068 | |
| | | 0.067 | | 0.069 | | 0.067 | |
| B | 0.053 | 0.054 | 0.055 | 0.056 | 0.057 | 0.057 | 0.057 |
| | | 0.053 | | 0.057 | | 0.056 | |
| | | 0.057 | | 0.056 | | 0.057 | |
| | | 0.057 | | 0.057 | | 0.056 | |
| C | 60 | 59.946 | 59.777 | 59.787 | 59.800 | 59.786 | 59.834 |
| | | 59.608 | | 59.812 | | 59.882 | |
| D | 60 | 60.248 | 60.148 | 60.432 | 60.309 | 60.456 | 60.261 |
| | | 60.048 | | 60.186 | | 60.065 | |
| E | 0.312 | 0.314 | 0.318 | 0.312 | 0.316 | 0.321 | 0.317 |
| | | 0.314 | | 0.316 | | 0.315 | |
| | | 0.324 | | 0.324 | | 0.319 | |
| | | 0.319 | | 0.312 | | 0.312 | |
| F | 0.5 | 0.5 | 0.500 | 0.499 | 0.499 | 0.501 | 0.501 |

結果 1 および結果 2 のグラフ化したものを図 1-11 に示す。(歯部形状 C 寸法抜粋)
 (グラフ中の薄青色範囲は、JIS B 4502 転造平ダイス寸法範囲)

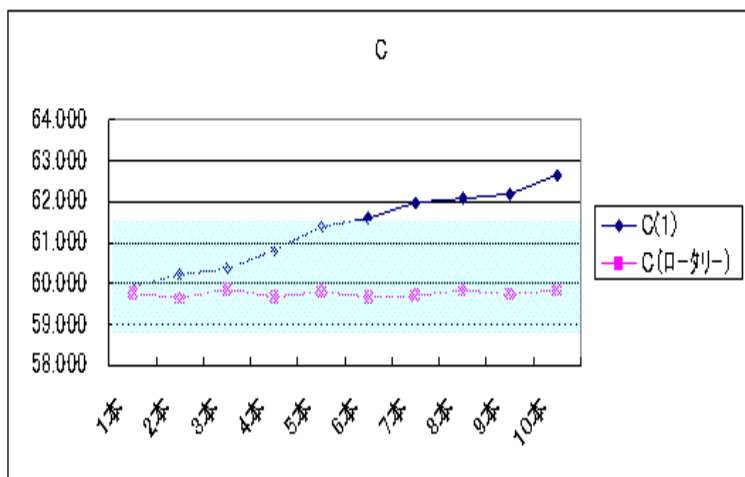


図 1-11 歯部形状 C 寸法の変化：抜粋
 (クラッシングロール、ロータリー併用)

(考察)

小径ネジでも同様に、クラッシングロールでの粗加工の経緯をみると、連続で金型 5 本程度までしか寸法を維持することができなかったが、ダイヤモンドロータリードレッサーでの仕上げ加工を併用することにより、加工精度を維持することが可能となり、クラッシングロールで金型 10 本の製作が可能になった。

(2) 高硬度金型研削用工具および最適加工条件の高度化

(2) - 1 高硬度金型研削用砥石の選定

(目的)

高硬度材料に適した砥石を選定し、これらを実際に具体的な研削加工試験に供してその加工特性を検証することによる、高硬度材料加工に適した砥石の仕様を絞り込む。

(試験方法)

高硬度材料加工に適したダイヤモンド砥石、CBN砥石、および安価なGC砥石を選定し、各砥石を高剛性研削盤に取付け、クラッシングロールから各砥石へ歯部転写、歯部転写された砥石から金型への歯部転写を行った。この金型の歯部形状をコンターレコードにて測定し、転写状態を確認した。
 (金型への歯部転写については、個々の砥石の性能差を明確にするために、1 ~ 3 本連続して加工を行った。)

(結果)

各砥石条件による、クラッシングロールから各砥石、砥石から金型への歯部転写を行った時の金型の各歯部形状変化量を表2-1に示す。

表 2-1 金型歯型寸法の変化

| | 変化量 (金型 3 本) | | |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|
| | ダイヤ | CBN | GC |
| A | - 0.0039 × 本数 (mm) | - 0.0019 × 本数 (mm) | - 0.0002 × 本数 (mm) |
| B | + 0.0038 × 本数 (mm) | + 0.0051 × 本数 (mm) | + 0.0006 × 本数 (mm) |
| C | - 0.7927 × 本数 (度) | - 0.4658 × 本数 (度) | - 0.1374 × 本数 (度) |
| D | - 0.5397 × 本数 (度) | - 0.493 × 本数 (度) | - 0.1417 × 本数 (度) |
| E | - 0.0012 × 本数 (mm) | - 0.0005 × 本数 (mm) | - 0.0007 × 本数 (mm) |
| F | + 0.0005 × 本数 (mm) | + 0.0003 × 本数 (mm) | - 0.0005 × 本数 (mm) |

(考察)

高硬度材料加工に適すると思われたダイヤモンド砥石、CBN砥石を用いると、クラッシング加工時のクラッシングロール材の歯形磨耗量が大きくなることが判明した。単に砥石で金型への歯形加工を行うだけであれば、ダイヤモンド砥石、CBN砥石の選択は良いと思われるが、クラッシングロールの磨耗影響を考えると安価なGC砥石の方が好適であることがわかった。

(2) - 2 最適加工条件の検証

〔ネジピッチ P=1.25 対応〕

(目的)

クラッシングロール、ダイヤモンドロータリドレッサーとの併用化により従来研削盤での金型 1 本当りの加工時間 105 分の 1/2 である 50 分を目指す。

金型サイズ 20 × 38 × 200 mm

(試験方法)

クラッシングロールの粗加工及び、ダイヤモンドロータリドレッサーでの仕上加工条件を任意に変えて加工を試みた。

(結果および考察)

ダイヤモンドロータリドレッサーとの併用化における加工で、当初金型加工時間は 85 分であった。このため、時間短縮を図るために、ダイヤモンドロータリドレッサーでの仕上工程における加工条件要素の切込量を増やすことで加工精度を維持したまま、60 分に短縮することができた。

〔ネジピッチ P=0.5 対応〕

(目的)

ネジが小径になり、ネジの歯型形状・ネジ山・谷の R 形状等の転写には繊細さが要求される。このため、砥石選定においては、更に砥石粒度等を小さくするなどの仕様変更を実施し、より高精度な転写性の実現を目指す。

また、加工条件についても砥石選定に伴い、加工速度や切込み量などの条件の見直しを行い、さらなる加工効率の高度化を目指す。

(試験方法)

ネジピッチ P = 1.25 と同様

(結果および考察)

研削砥石粒度を細かくして、ドレッサー加工条件を見直したが、金型への砥石加工負荷が大きくなり金型歯面に焼付きが発生してしまった。

砥石から金型への加工負荷を小さくする為に、砥石切込量を減らし、切込回数を増やして金型加工を行った結果、歯面の焼付きは防止できたが、加工時間が増えてしまった。

そのため、研削砥石粒度を粗くしてドレッサー加工条件を再度見直し、最適な加工速度、切込量条件を見出した。これにより加工時間 65 分となった。

〔転造ダイスの評価等に係る課題への対応〕

(3) 転造ダイス用試作高硬度材料特性の評価

(目的)

STARKのダイス用材料としての適合性を検証し、組成配合・熱処理条件等へのフィードバックを行うために、耐摩耗性等の各種物性を把握する。

(試験方法)

従来のダイス用材料であるハイス鋼と、本研究での開発品である STARK、および鑄造後鍛造処理した STARK (鍛造 STARK) の摩擦摩耗特性をピンオンディスク摩擦摩耗促進試験により調べた。ダイス用素材をディスク側、ネジ用素材である SCM 材をピン側とし、一定速度で回転しているディスクに一定荷重でピンを押しつけ、摩擦摩耗試験を行った。試験前後の重量変化から摩耗量を測定し、耐摩耗性を評価した。表 3-1 に試験条件を示す。

表 3-1 ピンオンディスク試験条件

| ディスク (稼働側) | ダイス用高硬度材料(ハイス鋼、STARK、鍛造 STARK) |
|------------|--------------------------------|
| ピン (固定側) | SCM 材 (ネジ用素材) |
| 負荷力 | 300N |
| 移動速度 | 100cm/s |
| 試験時間 | 15, 30, 60, 120min |
| 潤滑剤 | 無し |

(結果)

図 3-1 にピンオンディスク試験によるピンとディスクの摩耗量を示す。ピン側の SCM 材は、いずれの試料においても時間が経つにつれ摩耗量が増えているのが分かる。一方、ディスク側では時間の短い 10, 15 分ではいずれも摩耗量がマイナスとなっている。これは重量が増えたことを意味する。さらに長時間試験を続けると、ハイス鋼では若干摩耗したが、STARK、鍛造 STARK ではマイナスの摩耗量のままだった。

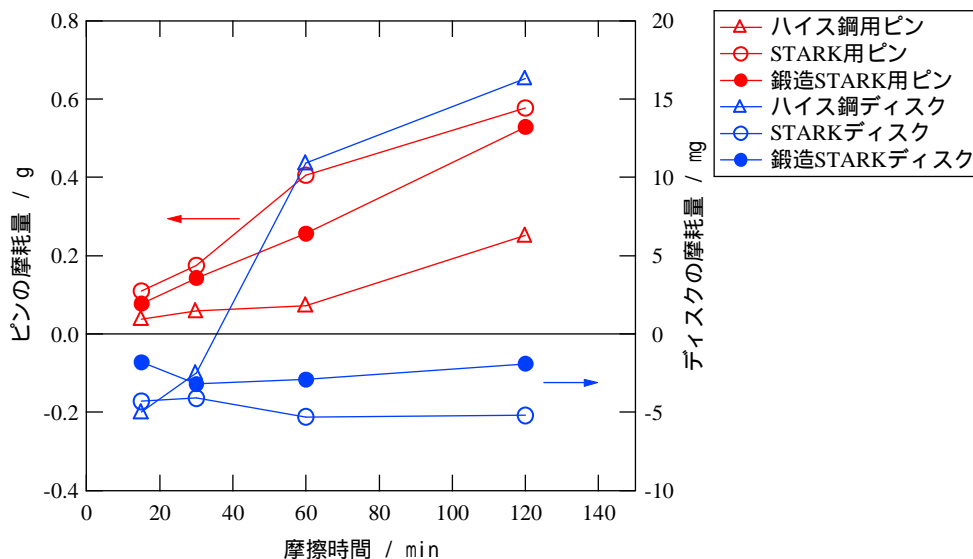


図 3-1 ピンとディスクの摩耗量への時間の影響

図 3-2 に 120 分間ピンオンディスク試験を行ったディスクの摩擦面の表面形状を、表面粗さ測定器で測定した結果を示す。いずれもディスク内側から外側へ計測した。図 3-2(a)のハイス鋼は深いところで $10\mu\text{m}$ 程度窪んでいるのに対し、図 3-2(b)の STARK および図 3-2(c)の鍛造 STARK では初期平面から窪んだところがほとんど無く、逆に凸になっている部分が確認できた。図 3-1 の摩耗量から重量が増加していたのは、摩擦熱で軟化したピンの SCM 材が STARK ディスクに圧着されるような現象が起こったと考えられる。つまり、図 3-2(b)(c)の凸部がディスクに圧着された SCM 材であると考えられる。これらの結果から、STARK と SCM との耐摩耗性の差がハイス鋼より大きいと、STARK ディスクはほとんど摩耗せず、SCM ピンがハイス鋼の時よりも激しく摩耗したと説明できる。このように、耐摩耗性における STARK の優位性が明確となった。

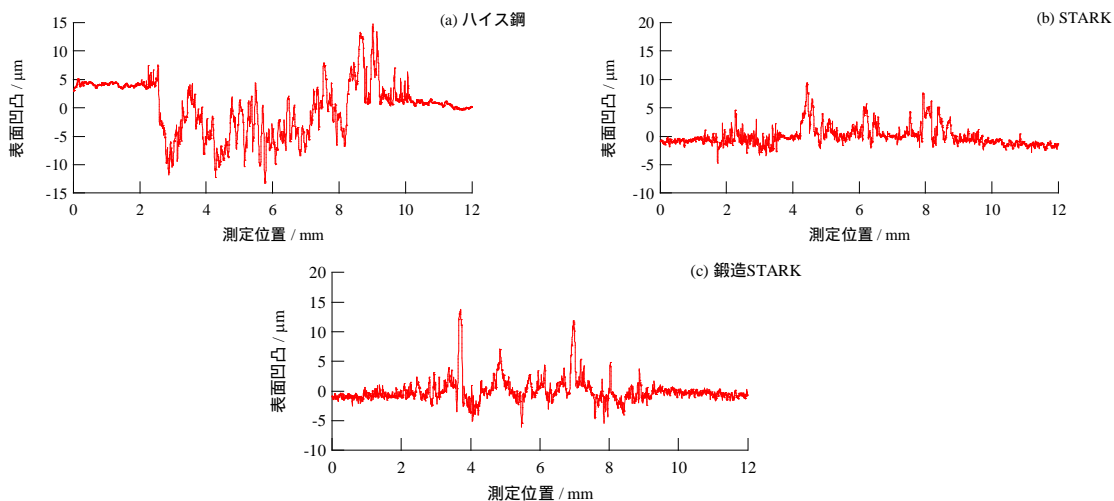


図 3-2 ディスク摩擦面の表面凹凸形状（試験時間 120min の試料）

(4) 転造ダイスのシミュレーションによる応力解析

(目的)

本研究では、有限要素解析によりねじ転造加工時の材料の変形挙動およびダイス摩耗のメカニズムの解明を目的とし、ダイスに加わる負荷の傾向を調査した。ダイスにはリード角を付け、ねじ転造加工条件に近づけるよう努めた。

(解析方法)

ダイス形状は M6 ねじ成形用ダイスと同形状とし、ブランク材は直径 5.27mm の円柱形モデルを解析に適用した。ブランク材は簡略化のためねじ頭部分は除き、試験片長さは解析時間との兼ね合いからねじ山を 4 個成形する 4mm とした。その片面を長手方向に移動しないように拘束した。

平ダイス式転造では移動ダイスが平行に往復運動しているところに素材がかみ込まれて成形されるが、解析ではかみ込みを表現することは難しいため、圧縮過程と平行移動過程の 2 段階に分けて解析を行った（図 4-1）。

転造加工のシミュレーションはワークを弾塑性体、ダイスを解析対象としない剛体として行い、その解析結果から調査したい加工中のある瞬間を取り出し、そこでダイスを弾性体として被加工物の応力をダイスに転写するという方法を採用した。

ブランク材の片面を拘束したものに関しては、固定ダイスの食いつき長さを (a) 30mm 、(b) 45mm 、(c) 60mm として三条件で解析を行った。両面無拘束の条件 (d) での食いつき長さは標準の 45mm とした。ダイス解析では摩耗の主な要因の一つである面圧に着目した。

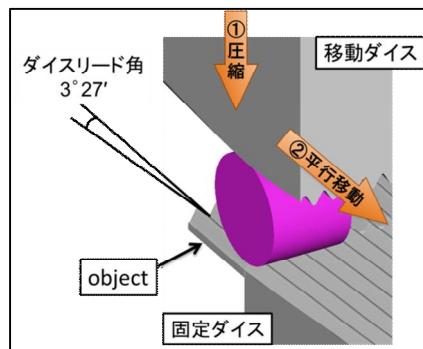


図 4-1 解析方法

(結果)

食いつき長さ 3 条件(a),(b),(c)それぞれの荷重グラフ、ダイス ワーク間接触面積グラフ、両ダイスの最大面圧の推移グラフを図4-2,3に示す。横軸は移動ダイスの移動距離(mm)とする。また食いつき長さ45mmの条件(b)での固定ダイス表面およびそれに対応する移動ダイス表面面圧分布を図4-4に示し、加工中での断面図を図4-5に示す。条件(a)では移動ダイスが60mm移動した時点でワークが固定ダイスの食いつき部末端を通過する。条件(b)では移動距離90mm、条件(c)では120mmとなる。

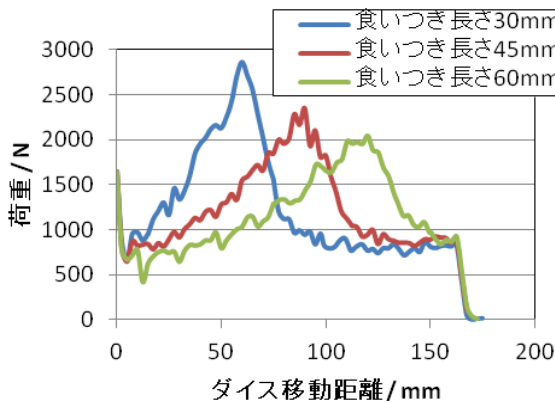


図 4-2 ダイス移動距離 荷重グラフ

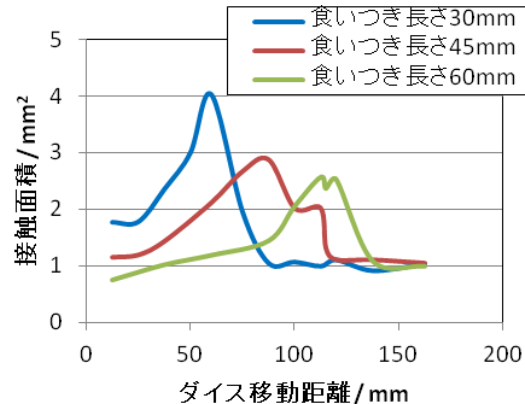


図 4-3 ダイス移動距離 接触面積グラフ

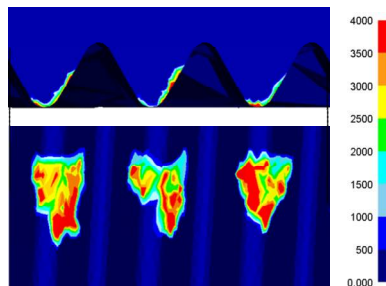


図 4-4 条件(b)移動ダイスの面圧分布 30mm、90mm、120mmのときに荷重のピークを示していることがわかる。これはワークが移動ダイスの食いつき部末端を通過した時点と一致し、加工荷重が食いつき部末端で最大となるということである。また条件(a),(b),(c)を比較すると、食いつき長さが長いほど加工荷重が小さいことも示されている。しかし、図4-3を見ると食いつき長さが長いほどワーク ダイス間の接触面積が小さくなっているのがわかる。食いつき長さが短いほど固定ダイスの傾斜角度が大きくなり、ワーク回転で刻まれる溝が深くなるため接触面積が大きくなる。

図 4-4 のダイス表面の面圧分布、図 4-5 の加工中の断面図を見ると、ダイスに押し込まれたワークが材料流動により拘束面とは逆の面に向かって大きく傾いて変形していることがわかる。このため面圧分布も加工が進むにつれダイス突起の片面に偏っている。これは、ねじ先端の加工で発生する歯こぼれ現象(チップング)の原因となる。

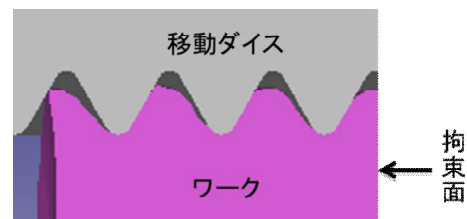


図 4-5 条件(b)加工中の断面図

(5) 試作転造ダイスの実機搭載によるネジ転造耐久性評価

(目的)

STARKによる試作転造ダイスと、既に販売されている他社製の転造ダイスとの耐久性を比較する事により優劣を見極める。

(試験方法)

本研究にて試作した転造ダイス、および A 社、B 社製の転造ダイスを実機(図5-1 三明製作製 THI-10R)に搭載し、ネジの転造加工を行うことにより、ダイスの耐久性確認を行った。実際に使用する加工ブランク(ワーク)は、M6×ピッチ1.0の熱処理前品とした。

転造されたネジに対して、ネジ用限界ゲージで形状精度の抜き取り検査を行い、最終的にゲージ検査が不合格となる時点までのネジの転造本数を転造ダイスの寿命と判定する。

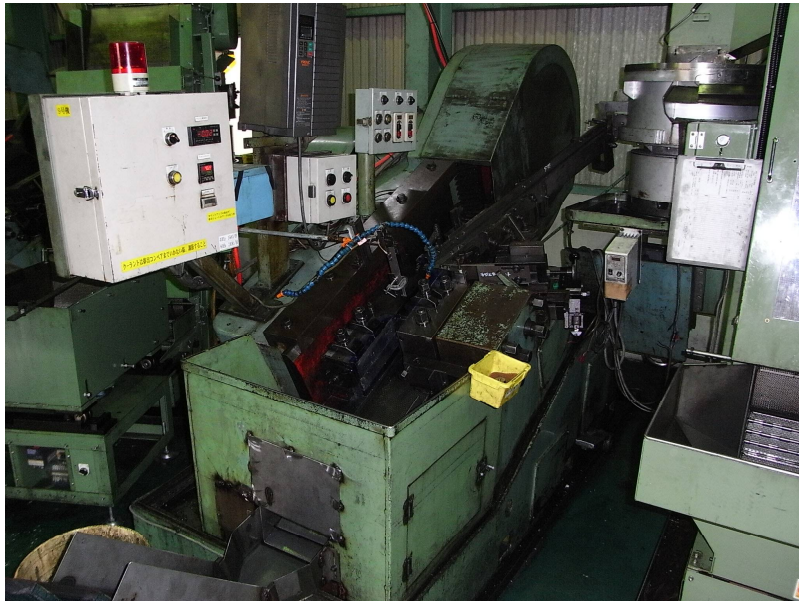


図 5-1 株式会社三明製作所製：THI-10R

(結果)

STARKおよびA社、B社製のダイスによるネジ転造耐久試験結果を表5-1に示す。

STARKについて、試験停止の判断は、ダイス歯面全体の摩耗による凹みによる外径公差の規格外れによるものであった。

ネジ転造加工可能本数(ダイス耐久性)としては、A社、B社製のダイスと比較してSTARKダイスはほとんど遜色のない耐久性を実現した。

表5-1 STARKダイスおよびA社製、B社製ダイスの転造試験結果

| ダイスの種類. | ネジ転造本数 | 備考(試験停止判断等) |
|---------|----------|------------------|
| STARK | 262,000本 | ネジ山外径公差オーバーによる停止 |
| A社製 | 249,000本 | ネジ山外径公差オーバーによる停止 |
| A社製 | 265,000本 | ネジ山外径公差オーバーによる停止 |
| B社製 | 254,000本 | ネジ山外径公差オーバーによる停止 |
| B社製 | 258,000本 | ネジ山外径公差オーバーによる停止 |

(考察)

ダイスの摩耗というと、ダイス表面のチッピングによる摩耗をすぐに想像するが、今回の耐久性試験のように、表面に加工硬化を起こしているブランクは、チッピングを発生させずにダイスの食い付き部分を平均的に凹ませる。ダイス山が徐々に凹むことによって、固定側ダイスと移動側ダイスに挟まれたブランクの外径が、決められた公差よりも大きくなってネジが規格外となり、これをもってダイスの寿命限界となる。

STARKダイスは、今回の耐久試験でも市場評価の高いA社、B社製のダイスと同等以上の耐久性を示した。

(6) 転造ダイスの表面改質によるネジ転造耐久性評価およびすべり防止性能の検証

(目的)

転造時のボルトのすべり防止対策として、転造ダイス歯面にショットブラストを施すことが一般的であるが、その投射材や投射速度等条件を変えることにより、転造ダイスの表面での硬度上昇、圧縮残留応力の導入、疲労強度の向上、微細欠陥の除去等の表面改質の効果が考えられ、転造ダイスの耐久性向上が期待される。

このため、試作製作した転造ダイスに様々な条件にてショットブラストを施し、転造機に搭載してネジ転造の耐久性を評価した。

また、表面改質の方法の一つとして窒化処理があげられ、転造ダイス歯面に窒化処理をしたものも本試験に組み込んだ。

(試験方法)

本研究にて試作した表面改質転造ダイス(表6-1) および 比較として、B社製の転造ダイスを実機(図5-1 三明製作製 THI-10R)に搭載し、ネジの転造加工を行うことにより、ダイスの耐久性確認を行った。実際に使用する加工ブランク(ワーク)は、M14×ピッチ1.5の熱処理品とした。

転造されたネジに対して、ネジ用限界ゲージで形状精度の抜き取り検査を行い、最終的にゲージ検査が不合格となる時点までのネジの転造本数を転造ダイスの寿命と判定する。

表6-1 STARKダイスの表面改質条件およびB社製ダイス

| No. | ダイスの種類. |
|-----|-----------------|
| 1 | STARK(標準品) |
| 2 | STARK+ショットブラスト1 |
| 3 | STARK+ショットブラスト2 |
| 4 | STARK+窒化処理 |
| 5 | B社製 |

(結果)

STARKおよびB社製のダイスによるネジ転造耐久試験結果を表6-2に示す。

STARKダイス表面に表面改質としての2種類のショットブラストを投射した結果、共に標準STARKダイスより10~30%耐久性を伸ばすことができた。

また、窒化処理を施したSTARKダイスは、標準STARKダイスと比較して2.5倍の転造本数を示すことができ、市場にて耐久性が良いと言われているB社製ダイスと比較しても1.5倍の転造本数を示すことが確認できた。

表6-2 STARK表面改質ダイスおよびB社製ダイスの転造試験結果

| No. | ダイスの種類. | ネジ転造本数 | 備考(試験停止判断等) |
|-----|-----------------|----------|------------------|
| 1 | STARK(標準品) | 71,500本 | ネジ山外径公差オーバーによる停止 |
| 2 | STARK+ショットブラスト1 | 95,000本 | ネジ山外径公差オーバーによる停止 |
| 3 | STARK+ショットブラスト2 | 78,000本 | ネジ山外径公差オーバーによる停止 |
| 4 | STARK+窒化処理 | 186,000本 | 加工用ブランク材なくなる |
| 5 | B社製 | 120,000本 | ネジ山外径公差オーバーによる停止 |

(考察)

ある特定の条件でショットブラストを施したものは、通常のものに較べて転造本数が伸びており、転造ダイスの耐久性向上の効果が見られた。しかしながら、一定の条件を超えてしまうと、表面粗さが低下し、転造時にボルトがすべる現象が見受けられ、これらは転造ダイスの損傷を招

く原因となることがわかった。

また、転造ダイス歯面に窒化処理を施したものは、ショットブラスト処理品より大幅に転造本数が伸びることが確認された。

第3章 全体総括

本プロジェクトの研究テーマは、転造ダイスの加工方法に係る課題への対応と、試作転造ダイスおよび材料の評価等に係る課題への対応の大きく二つに分けられる。

転造ダイスの加工方法に係る課題への対応

ダイス鋼以上の硬度を有する複合高機能金属（独自開発品：HRC67）を型材として転造ダイスを製作するため、初年度では高剛性の研削盤を開発・導入するとともに、砥石への刃形転写のためのクラッシングロールユニットを開発し、これらに好適な研削砥石の活用を進めながら、加工条件の絞込みを行った。次年度では転写精度の向上、加工時間の短縮、クラッシングロールの長寿命化を目的として、研削盤の改造を実施し、加工条件の最適化を実施した。そして最終年度では、応用技術として小径ネジ（P0.5）への加工対応を実施するとともに、さらに最適加工条件の高度化を図った。

転造ダイス加工用クラッシングユニットの最適化に関する研究

初年度は、高剛性かつ精密な歯付研削が可能で研削装置を研削盤メーカーと共に開発した。（高剛性精密平面研削盤）また同時に、この研削盤に装着して歯付研削を行う為のクラッシングロール成形用工具の設計・製作を行った。

この高剛性精密平面研削盤を用いて、クラッシングロールから砥石への転写加工を行い、この砥石によりクラッシングロールへの転写加工を実施した。加工されたクラッシングロール歯部形状を測定して、形状転写精度を確認することにより、クラッシングロールを高精度に加工可能な条件を見出した。

クラッシングロールから金型加工用砥石への歯部転写加工、およびこの砥石を用いて金型（ダイス）への歯部転写連続加工試験を行った。連続してダイスを10本加工した時の、クラッシングロールの繰り返し砥石加工・再生による磨耗に起因する寸法精度の低下具合変化を確認した。

2年度は、クラッシングロールの長寿命化を図る為、材質、表面処理の検討を行い、表面改質品（窒化処理）、ハイス材、SK材の各々を作成して10本連続金型製作し、歯部寸法精度の低下状況を観察した。結果の何れにおいても、歯部形状の寸法精度低下が確認され、連続金型製作本数3、4本程度で規格の寸法範囲を超えてしまい、有意な差は認められなかった。

また、初年度開発した高剛性研削盤を改造して、ダイヤモンドロータリッドレッサユニットを導入した。クラッシングロールでの粗加工、ダイヤモンドロータリッドレッサでの仕上げ加工を併用することにより、加工精度の維持向上と品質の安定化が図れた。これにより10本連続金型製作が可能になった。

3年度は、ねじ歯型形状が小さくかつ成形精度の確保が困難とされる小径ネジM5ピッチ=0.5への適応を目指す為、小径ネジ転造ダイス用クラッシングロール成形用工具の設計・製作を行った。加工用刃物で歯部谷底Rの加工が難しいことから、ネジ山を1ピッチ飛びで設計・製作することとした。

クラッシングロールで粗加工、ダイヤモンドロータリッドレッサで仕上げ加工を併用することにより、小径ネジにおいても加工精度の向上と品質の安定化が図れ、クラッシングロールで金型10本製作が可能になり加工コストの抑制が図れた。

高硬度金型材料研削用工具および最適加工条件の高度化

初年度は、高硬度材料加工に適した研削用砥石を選定するために、ダイヤモンド砥石、CBN砥石、GC砥石を選定し、クラッシングロールから各砥石へ歯部転写、歯部転写された砥石から金型への歯部転写試験を行った。ひとつの砥石で金型3本連続加工した時の金型歯部形状を測定し転写状態を確認したところ、GC砥石が好適であることがわかった。

金型製作加工時間は、高剛性精密平面研削盤を用いることにより、従来研削盤105分から75分へと、29%時間短縮できた。

2年度目は、時間短縮を図るために、ダイヤモンドロータリードレッサーでの仕上工程における加工条件要素の切込量を増やすことで加工精度を維持したまま、60分まで縮めることができた。従来研削盤での加工時間105分に対して約半分程度になっており、ほぼ目標通り進めることができた。

3年度は、小径ネジにおいても加工精度向上を図るために、研削砥石粒度、加工条件を見直した。研削砥石粒度は細かくして、ドレッサー加工条件を見直したが、金型への砥石加工負荷が大きく金型歯面に焼付きが発生してしまった。この為、従来から採用している研削加工砥石で仕上げ回数を増やすことで加工精度維持と品質の安定化を図った。

試作転造ダイスおよび材料の評価等に係る課題への対応

初年度は当社開発品の複合高機能金属を金型材として用いる場合の材料特性把握を行った。次年度では、当材料を用い試作ダイスの製作を行うとともに、実機（転造機）に搭載し、ダイスとしての寿命評価及びボルトの転写性の確認を行った。また、並行してシミュレーションによる応力解析を実施し、転造時に生じる応力状態を確認した。最終年度ではさらに品質安定化および長寿命化を図るため、表面改質技術等も導入した。

転造ダイス用試作高硬度材料特性の評価

本研究で使用する高硬度材料（STARK）の物性データを計測して、ダイスの耐久性の目安とした。また、ピンオンディスク摩耗試験装置によりSTARKとハイテンションボルトに用いられるSCM材との摩擦摩耗試験を実施し、STARKとSCMとの耐摩耗性の差がハイス鋼より大きいため、STARKディスクはほとんど摩耗せず、SCMピンがハイス鋼の時よりも激しく摩耗した。このように、耐摩耗性におけるSTARKの優位性が明確となった。

転造ダイスのシミュレーションによる応力解析

ダイス設計の際の時間短縮やコスト削減だけでなく、ダイス寿命の予測、耐摩耗性の向上を可能にすることを目的とし、有限要素法を用いて、加工工程中にダイスにどのように負荷がかかるのかを調査した。

三次元有限要素解析をねじ転造加工に用いて、材料の変形挙動およびダイスに加わる負荷の傾向を調査した。ダイス面圧はダイス突起先端および突起側面、とくに固定ダイスの食いつき部末端で高くなる傾向があることがわかった。その結果、ダイスの面圧分布からダイス摩耗箇所の予測をすることができた。

試作転造ダイスの実機搭載によるネジ転造耐久性評価およびネジの塑性加工評価

STARKと従来材の転造ダイスのネジ転造耐久性評価を行い、比較検討を行った結果、ハイテンションボルトのような硬度の高い素材を転造するためには、より硬度の高い転造ダイスが必要となることが確認できた。特に、STARKによる転造ダイスのネジ転造本数は、ハイス鋼による転造ダイスのネジ転造本数と比べて同等数以上となり、現段階でハイス鋼と同等以上の耐久性を有する転造ダイスが試作できていることが分かった。

STARKダイスを実際のネジ転造加工に使用し、破損した山の表面状態や断面を観察した。ハイス鋼やダイス鋼にはダイス製造時の加工痕（研削痕）が観察され、これに沿ってクラックが進行していると考えられる。一方、STARKダイスではこのような加工痕は少なく、破壊の進み方も違うと思われる。特に断面の観察結果から、STARKダイスでは山の側面に入るクラックがほとんど無いことが分かった。以上の結果から、製造時の加工痕が破損に大きく影響していると考えられるので、研削痕を除去する表面処理を行えば、長寿命化できるのではないかと考えられた。そこで、表面処理を行ったところ、研削痕を除去することができた。

転造ダイスの表面改質によるネジ転造耐久性評価およびスベリ防止性能の検証

STARKを用いて試作した転造ダイスの歯面に表面改質を施して、転造ダイスの長寿命化への効果を検討するために、ネジ転造試験を行った。ショットブラストした転造ダイスは、通常の転造ダイスと比べて、転造本数が1.2倍以上となった。また、窒化処理を施した転造ダイスは、B社製転造ダイスの約1.5倍の耐久性を記録した。