

注: 本稿はUSCAR Project-FAS 1005のレポート(2012/03/13)の原文(英語)を日本語に翻訳したものです。何らかの解釈または意味の相違がある場合、原文(英語)が優先されます。

**鋳造後の鋳抜き穴への**  
**スレッドフォーミングファスナーの適用による**  
**機械加工の排除**

最終報告

米国自動車研究協会(USCAR) LLC

(USCAR)プロジェクト番号: FAS 1005

米国エネルギー省(DOE)アワード番号: DE-EE0003482

ライアン・クリーバー

Tech Knowledge

トッド・クリーバー

Tech Knowledge

リチャード・タルボット

フォードモーターカンパニー

2012年3月13日

**プロジェクト名:**

鋳造後の鋳抜き穴へのスレッドフォーミングファスナーの適用による  
機械加工の排除

**最終的な科学/技術レポート**

DOE アワード番号: DE-EE0003482

発行日: 2012 年 3 月 13 日

プロジェクト期間: 2010 年 8 月 16 日 ~ 2012 年 3 月 31 日

**受領者: 米国自動車研究協会 LLC (USCAR)**

1000 タウンセンタードライブ スイート 300,  
サウスフィールド、MI 48075  
電話: 248-223-9000

**プロジェクトディレクター:**

ウィリアム・シャロン  
フォードモーターカンパニー  
電話: (313) 805-6628  
メール: wcharron@ford.com

**原理調査官:**

トッド・クリーバー  
Tech Knowledge  
電話: (734) 675-5562  
メール: Todd@TechKnowledgeAMD.com

**プロジェクト参加者:**

米国自動車研究協会 LLC (USCAR)、クライスラーグループ合同会社、  
フォードとゼネラルモーターズコーポレーションの共同研究組織

Acument

ATF

REMINC

承認:

このレポートは、米国エネルギー省の表彰番号:DE-EE0003482 によるサポートに基づいています。

免責事項:

このレポートに記載されている所見、意見、結論または推奨事項はすべて著者のものであり、必ずしもエネルギー省の見解を反映しているわけではありません。

独自のデータ通知:

このレポートのいかなるものも独占的とは見なされません。

ドキュメントの可用性:

レポートは米国エネルギー省(DOE)の Information Bridge Web サイト(<http://www.osti.gov/bridge>)から無料で入手できます。

DOE の従業員、DOE の請負業者、エネルギー技術データ交換(ETDE)の担当者、および情報核情報システム(INIS)の担当者は、次のソースからレポートを入手できます。

科学技術情報局  
P.O. ボックス 62  
オークリッジ、テネシー州 37831  
Tel: (865)576-8401  
ファックス: (865)576-5728  
メール: [reports@osti.gov](mailto:reports@osti.gov)  
ウェブサイト: <http://www.osti.gov/contract.html>

目次	1.0	頭字語のリスト	5
	2.0	図のリスト	6
	3.0	テーブルのリスト	7
	4.0	付録のリスト	8
	5.0	エグゼクティブサマリー	9
	6.0	はじめに	11
	7.0	背景	13
	7.1	目的	17
	7.2	アプローチ	18
	7.3	資格とリソース	21
	8.0	結果と考察	23
	8.1	アルミニウム鑄造	23
	8.1A	そのままの状態のファスナー	23
	8.1B	乾式および注油式ファスナー	25
	8.1C	堅牢性テスト	26
	8.2	マグネシウム鑄造	28
	8.2A	ファスナーそのままの状態	28
	8.2B	乾式および注油式ファスナー	30
	8.2C	堅牢性テスト	31
	8.3	ディスカッション	33
	9.0	メリットの評価	35
	9.1	従来のねじ式ファスナーと比較した利点	35
	9.2	自動車用アプリケーション	36
	9.2A	潜在的なエネルギー利益	36
	9.2B	潜在的な経済的利益	37
	9.2C	潜在的な環境上の利点	37
	9.3	自動車以外のアプリケーション	38
	9.4	全体的なメリット	39
	10.0	商用化	40
	11.0	成果	41
	12.0	結論	42
	13.0	推奨事項	43
	14.0	参考文献および/または参考文献	44
	15.0	付録	45
	15.1	チームメンバー	45
	15.2	アルミニウムの TAPTITE® のサイズと形状の穴の寸法	46
	15.3	マグネシウムの ALtracs のサイズと形状の穴の寸法	48
	15.4	断面金属組織サンプル	50

## 1.0 頭字語のリスト

AFS	アメリカ鑄造協会
BTU	ブリティッシュサーマルユニット(英熱量)
Deg。	程度
DOE	エネルギー省
HVAC	暖房、換気、および空調
KN	キロニュートン
Max.	最大
Min.	最小
Mm	ミリ
MmBtu	ミリオン英国熱量単位
NADCA	北米ダイカスト協会
Nom	名目
Nm	ニュートンメートル
RPM	1分あたりの回転数
PNNL	パシフィックノースウエスト国立研究所
STD DEV	標準偏差
TFF	スレッドフォーミングファスナー
X-3STD	ターゲット-3 標準偏差
X + 3STD	ターゲット+ 3 標準偏差
USAMP	米国自動車材料パートナーシップ
USCAR	米国自動車研究協会

## 2.0 図のリスト

	ページ
図 7.1 スレッドフォーミングファスナー……………	13
図 7.2 現在のボルトアセンブリと新しいボルトアセンブリのプロセス…	14
図 7.3 一般的なマシンねじの軸力と入力トルクのプロット……	16
図 7.4 典型的なスレッドフォーミングファスナーの軸力と入力トルクの プロット……………	17
図 7.5 12 個のボスと 12 個のナットの型……………	19
図 7.6 スレッドフォーミングファスナーと鋳造ナット……………	19
図 7.7 フォードファスナーラボ軸力テストセル……………	20
図 7.8 スレッドフォーミングファスナーを鋳造ナットにねじ込んだ ロードセル……………	20
図 15.1 アルミニウム鋳造ナットのボス指定……………	46
図 15.2 マグネシウムの鋳造ナットのボス指定……………	48
図 15.3 深さ 15 mm、抜き勾配角度 0.5 度のアルミダイカスト (A380)鋳抜き穴における TAPTITE®M6 スレッドフォーミング ファスナーの断面金属組織サンプル……………	50
図 15.4 深さ 18 mm、抜き勾配角度 0.5 度のマグネシウムダイカスト (AZ91D)における ALtracs ®M6 スレッドフォーミングファスナーの 断面金属組織サンプル……………	51

### 3.0 表のリスト

	ページ
表 7.1 鋳造穴のサイズの変化……………	18
表 8.1 すべての鋳造穴サイズの変化範囲に対して記録された データ、箱から出した状態のファスナーをアルミニウムに……………	24
表 8.2 鋳造穴のサイズの変化のすべての範囲で記録されたデータ、 乾燥およびアルミニウムで潤滑……………	25
表 8.3 アルミニウム鋳造穴のサイズ変動のロバスト性範囲について 記録されたデータ……………	27
表 8.4 鋳造穴のサイズの変化の範囲全体で記録されたデータ、 箱から出した状態のファスナーをマグネシウムに……………	29
表 8.5 鋳造穴のサイズの変化のすべての範囲で記録されたデータ、 乾燥およびマグネシウムの潤滑剤……………	30
表 8.6 マグネシウム鋳造穴のサイズ変動のロバスト性範囲について 記録されたデータ……………	32
表 8.7 軸力変動結果の概要……………	34
表 9.1 自動車以外の推定エネルギーおよび経済効果アプリケーション……………	38
表 15.1 アルミニウムの鋳造ナットの穴の寸法とドラフト角度……………	47
表 15.2 マグネシウムの鋳造ナットの穴の寸法とドラフト角度……………	49

## 4.0 添付資料のリスト

	ページ
プロジェクトチームメンバー.....	45
TAPTITE® 用アルミニウム鑄造穴のサイズ、形状、寸法.....	46
ALtracs 用マグネシウム鑄造穴のサイズ、形状、寸法.....	48
金属断面組織サンプル.....	50



## 5.0 エグゼクティブサマリー

定義により、スレッドフォーミングファスナーは、材料の変位によってめねじを成形するものです。スレッドフォーミングファスナーは、一般的に、ローブ状の端部を有し、3ローブ状が最も一般的であり、ファスナーが穴にねじ込まれると材料を成形するための圧力点を作り出す。

一般的な組み立て用の鋼鉄自動車用途に特徴的な機械加工または打ち抜き穴にスレッドフォーミングファスナーを適用することで進歩が見られました。これらのファスナーを使用することで、タッピング作業が不要になり、コスト、投資、保証が向上すると同時に、アセンブリ内の接合特性が向上しました。鋳造したままの鋳抜き穴を備えた軽合金ダイカストにスレッドフォーミングファスナーを使用することにより、締結のパフォーマンスを犠牲にすることなく、ドリル作業とそれに関連する設備投資も排除されます。

この作業の最終的な目的は、アルミニウムとマグネシウムの鋳造部品の鋳造したままの鋳抜き穴にスレッドフォーミングファスナーを使用することにより、典型的な自動車エンジンとトランスミッション工場で行われる機械加工の約 30%を排除することでした。

この機会を評価するために克服すべき重要なハードルがあります。スレッドフォーミングファスナーテクノロジーはスチール用途のドリル穴では十分に理解されていますが、今日の主要なパワートレイン材料であるアルミニウムダイカストや明日の選択材料であるマグネシウムダイカストではあまり理解されていません。軽合金ダイカストにスレッドフォーミングファスナーを実装することに技術者が乗り気でない場合の主な問題は次のとおりです。

- アルミニウムまたはマグネシウム鋳造品の軸力と入力トルクの整合性の証拠が殆ど無い。
- 鋳造ダイが摩耗したときの軸力の一貫性への影響を理解する既知のデータが無い。

軸力の一貫性の問題は、軸力の作成に使用される入力トルクの一部がねじ山の作成にも使用されるという事実に基づいています。ねじの成形に使用されるトルクは、工具の摩耗やプロセスのばらつき(熱的および機械的)による鋳造材料、穴のサイズおよび形状のばらつきにより、一定しない場合があります。この懸念の大きさを理解したり、軸力変動の範囲が非常に大きい(> +/- 30%)場合に考えられる解決策の基礎を成形したりするために利用できるデータはほとんどありません。

高圧ダイカストダイのライフサイクル全体にわたって、鋳造したままの鋳抜き穴のサイズと形状に予想される変動の範囲は、Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) が完了した以前の研究で確立されました。この確立された変動範囲は、サイトの以前の作業で特定されたサイズとドラフト角度でコアピンを設計することにより、12 の鋳造ボスのセットでキャプチャされました。鋳造ボスは「ナット」にカットされ、Ford Fastener Laboratory のテストセルで使用して、スレッドフォーミングファスナーを鋳造ナットにねじ込んだときの軸力を測定しました。

2 セットの実験が実行されました。まず、ダイカストダイのライフサイクルで予想される形状とサイズのバリエーションの範囲を反映して、一連のアルミニウム鋳造ナットが作成されました。TAPTITE® スレッドフォーミングファスナー(アルミニウム用途に適した広く使用されているスレッドフォーミングファスナー)は、一定の入力トルクでさまざまなコア付きの鋳造ナットにねじ込まれ、軸力が継続的に記録されました。軸力データは、予想される軸力の範囲を決定するために使用されました。ボルトは破壊するまで締め付けられました。18.5 Nm の目標入力に対応する軸力が、各ファスナーについて記録されました。

同様の方法で、鋳造マグネシウムナットと ALtracs スレッドフォーミングファスナー(マグネシウム用途に適した、広く使用されているスレッドフォーミングファスナー)を使用して、2 番目の実験セットを実行しました。ここでも、すべての軸力が記録され、アルミ鋳造ナットの TAPTITE® と同様に分析されました。

標準の M8 ボルトを標準の M8 ナットに使用してバテルプロジェクトの同じテストセルで実行した以前の作業の結果は、標準のボルトとナットのアプリケーションの比較基準として含まれていました。

アルミ鋳造穴のスレッドフォーミングファスナーの結果は、箱から出してすぐの状態のファスナーの堅牢性の範囲のテストで、業界の予想 $\pm$  30%の範囲内でした。潤滑剤無しと潤滑剤有りの極限状態の結果は、業界の予想よりわずかに高く、 $\pm$ 35.6%でした。ただし、標準のボルトとナットの実際のバテルの結果( $\pm$  40%)と比較すると、スレッドフォーミングファスナーのパフォーマンスはわずかに向上しています。マグネシウム鋳造穴のスレッドフォーミングファスナーの結果は、3つの条件すべてで、業界の予想 $\pm$  30%の範囲内でした。

堅牢性の範囲(フルライフサイクルでのダイカストダイの予想摩耗パターンよりも 0.05mm 大きい穴と小さい穴)の結果も、標準のねじファスナーに対する業界の期待の範囲内でした。これらの結果は非常に有望でした。

この作業により、スレッドフォーミングファスナーによる軸力の変動は、標準の鋼製ボルトおよびナットに対する業界の期待と $\pm$  30%で一貫していることがわかりました。ダイカスト金型の有効寿命にわたって、アルミニウムまたはマグネシウムの鋳造したままの鋳抜き穴にスレッドフォーミングファスナーを適用することにより、軸力の変動が大幅に増加することはないようです。

アルミニウムとマグネシウムの鋳造したままの鋳抜き穴にスレッドフォーミングファスナーの完全に実装された潜在的な利点は、北米では年間 6 兆 Btu(英熱量)(英熱量)と推定されています。経済的利益は年間 8 億ドル近くと推定されています。このテクノロジーの完全な実装により、環境上のメリットと品質の向上ももたらされます。

このレポートは、国内の自動車会社および関連する供給拠点に配布されます。さらに、レポートはファスナーおよび鋳造業界の協会に配布されます。

## 6.0 はじめに

実施した作業の最終的な目的は、アルミニウムとマグネシウムの鋳造部品の鋳造したままの鋳抜き穴にスレッドフォーミングファスナーを使用することにより、一般的な自動車エンジンとトランスミッションプラントで実行される機械加工の約 30%を排除することでした。

この機会を評価するために克服すべき重要なハードルがあります。スレッドフォーミングファスナーテクノロジーは、軟鋼用途のドリル穴では十分に理解されていますが、今日の主要なパワートレイン材料であるアルミニウムダイカストや明日の選択材料であるマグネシウムダイカストではあまり理解されていません。軽合金ダイカストにスレッドフォーミングファスナーを実装することに技術者が乗り気がしない場合の主な問題は次のとおりです。

- アルミニウムまたはマグネシウム鋳造品の軸力と入力トルクの整合性の証拠が殆ど無い。
- 鋳造ダイが摩耗したときの軸力の一貫性への影響を理解する既知のデータはありません。

このプロジェクトで収集された軸力データは、鋳抜き穴の軸力変動の重大度を決定します。この変動範囲は、従来のボルトとナットの軸力変動による軸力変動と比較されます。比較は、エンジニアがスレッドフォーミングファスナーの使用促進への抵抗を克服するのに役立つか、範囲を狭めるための方法と戦略を作成するための追加作業の特定につながります。

一般的な組み立て用の自動車用スチール製アプリケーションの機械加工または打ち抜き穴にスレッドフォーミングファスナーを適用することで進歩が見られました。これらのファスナーを使用することで、タッピング作業が不要になり、コスト、投資、保証が向上すると同時に、アセンブリ内の締結特性が向上しました。軽合金ダイカストに鋳造したままの鋳抜き穴を備えたスレッドフォーミングファスナーを使用することにより、締結のパフォーマンスを犠牲にすることなく、ドリル作業とそれに関連する設備投資も排除されます。

鋳造部品でスレッドフォーミングファスナーを使用する可能性のある用途は数多くあり、パワートレイン(トランスミッション、エンジン、リアアクスル)、シャーシ(コントロールアーム、サスペンション)、大型の鋳造を利用する車体構造(内部ドア、リフトゲート、ボンネット等のアタッチメントとサポート)、インテリアアセンブリ(インストルメントパネル、ステアリングコラム、シート構造、アクセサリ)。このコンセプトのアルミニウムダイカストへの適用の進展はごくわずかで、マグネシウムの場合はさらに少なくなります。自動車の研究によると、一般的なパワートレインプラントの加工エネルギー使用量の少なくとも 30%は、ねじ付きファスナーの為のドリルとタップ工程です

最終的に、この技術を北米の自動車産業に完全に実装した結果、年間 5 兆 Btu(英熱量) /年のエネルギー節約が実現可能と思われます。この数値は、大型トラック、農機具、軍用、船舶用、重建設用機器、園芸用機器、レクリエーション車両、および航空/宇宙を追加するとさらに高くなります。

完全な実装での自動車産業への推定経済的利益は 6 億ドル以上です。

技術の商業化は、ファスナーメーカーと産業団体(産業ファスナー協会 (IFI)、北米ダイカスト協会 (NADCA)、およびアメリカ鑄造協会 (AFS))の関与によって保証されます。

## 7.0 背景

定義により、スレッドフォーミングファスナーは、相手材料の除去ではなく、相手材料の変位によってめねじを成形するファスナーです。スレッドフォーミングファスナーは、一般的に、ローブ状の端部を有し、3ローブ状が最も一般的であり、ファスナーが穴にねじ込まれると材料を成形するための圧力点を作り出します。

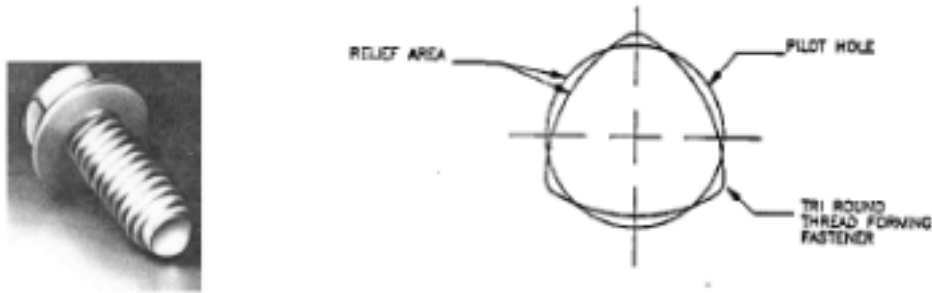


図 7.1 スレッドフォーミングファスナー

多くのスレッドフォーミングファスナーは、標準またはほぼ標準のめねじを下穴に作成し、製品寿命の後半にコンポーネントの保守を実施する際に、標準ねじ、従来のボルトに置き換えることができます。

特にファスナーを鋳抜き穴に直接適用できる場合は、スレッドフォーミングファスナーを適用することで製造業者にいくつかの利点があります。最も重要なことは、いくつかの高価で資本集約的な機械加工作業の排除です。現在の方法では、完全な閉塞されていない穴が完成したことを確認するために、ドリル作業に続いてプルービングステーションが必要です。これに続いてタッピング操作と洗浄プロセスが続き、前工程から生じるすべての切りくずや破片が穴から確実に除去されるようにします。全体にゲージングが必要です。さらに、非常に重要な切削液と切りくずの除去システムが全体で必要です。この新しいテクノロジーが完全に開発され、同等の軸力を達成できる場合、これらの手順のすべては必要ありません。

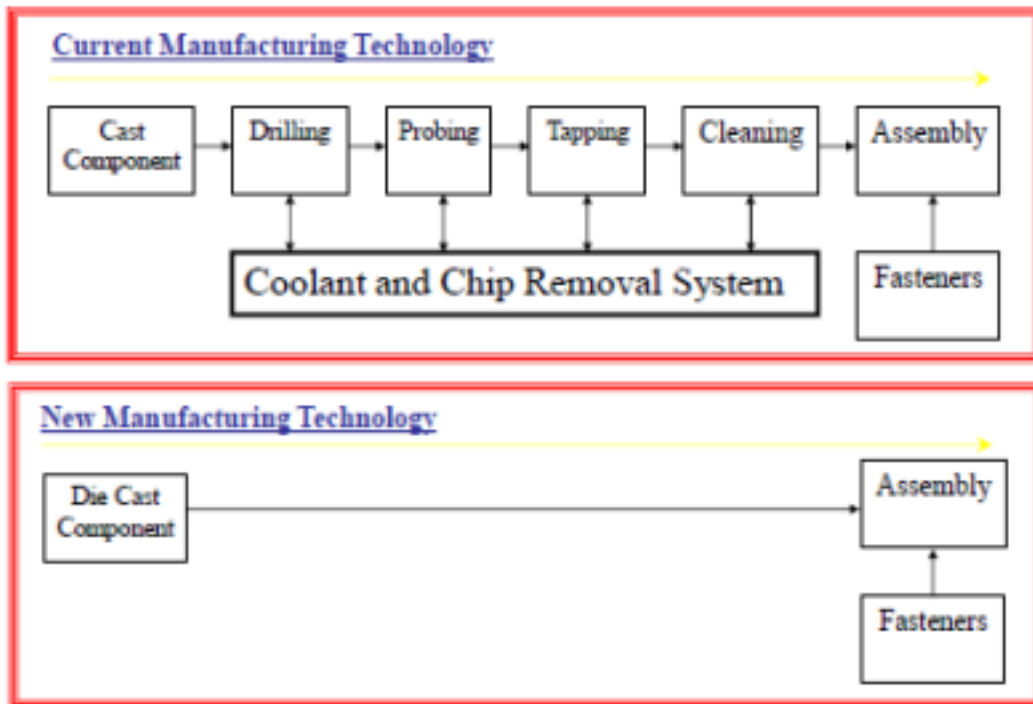


図 7.2 マシンねじ対スレッドフォーミングファスナーのプロセスの違い

自動車の研究によると、一般的なパワートレイン(エンジンまたはトランスミッション)プラントのすべての加工エネルギーの少なくとも 30%は、ファスナー用の穴あけとタッピングで消費されています。調査によると、ファスナー1つあたりの運用コストが 0.07~0.09ドル節約されています。考慮すべきいくつかの追加の利点があります。

- 斜め噛み込みが全く発生しないので、生産性・品質が向上し、保証の心配が少なくなります。
- ねじ成形中のコールドフロー加工硬化によるより強いめねじ
- 切りくずの取り扱いと再処理の排除
- ローブデザインの優れた耐振動性により、ロックワッシャーなどのファスナーロック機能が不要になり、きしみ音やガラガラ音の保証が少なくなります。
- 加工切削液の排除による環境改善
- 軽量材料(Al.と Mg.)と鉄系材料のコスト差を削減することで、軽量材料の代替(CAFÉの改善)を実現します。

スレッドフォーミングファスナーを鋼のドリル穴にうまく組み込んだにもかかわらず、鑄造軽金属へのスレッドフォーミングファスナーの実装に対するいくつかの阻害要因が知られています。以下は最も重要な阻害要因です(でした):

- 鋳造穴のサイズ、形状、位置など、ダイの寿命全体にわたる鋳造変動
- 鋳造穴のサイズ、形状、場所を維持するために鋳造コストを追加
- めねじの成形に起因する金属粉
- 保守作業に対応するための、ねじ穴とスレッドフォーミングファスナーの再使用性能
- 入力トルクを制御として使用する場合の軸力の一貫性
- マグネシウム鋳造用途における鋼製ファスナーの腐食の問題

これらの阻害要因の多くは、Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) で完了した最近の研究(参考文献:USAMP / DOE プロジェクト AMD 407 を参照)によって克服されました。その研究は、スレッドフォーミングファスナーが特別なサービスや金型への追加コストなしに、ダイの全寿命にわたって鋳造穴の変化の範囲全体でうまく機能することを示しました。同じ努力により、スレッドフォーミングファスナーとねじ穴は、幅広い再利用で正常に機能することがわかりました。最後に、PNNL の作業では、鋳抜き穴のスレッドフォーミングファスナーでは、ドリル穴とタップ穴の従来のファスナーと比べて多い金属粉が生成されたが、通常はアセンブリの外部にあるため金属粉が重要ではない貫通穴アプリケーションでのみ発生した。袋穴アプリケーションでは、金属粉発生に測定可能な差はありませんでした。

残りの抑制要因、軸力の一貫性、およびマグネシウムによる腐食は残ります。マグネシウム鋳造品の鋼製ファスナーの用途における腐食は、スレッドフォーミングファスナー用途に固有のものではありません。従来のドリル加工およびタップ加工されたマグネシウム鋳造穴のスチールボルトで使用される分離およびコーティング技術は、スレッドフォーミングファスナーアプリケーションで発生する可能性がある腐食問題に対処するために適用または変更できます。

軸力の一貫性阻害要因は、このプロジェクト作業の焦点です。軸力の一貫性の問題は、軸力の生成に使用される入力トルクの一部がめねじの成形にも使用されるという事実に基づいています。めねじの成形に使用されるトルクは、工具の摩耗やプロセスのばらつき(熱的および機械的)による鋳造材料や穴のサイズおよび形状のばらつきにより、一定しない場合があります。この懸念の大きさを理解したり、軸力変動の範囲が非常に大きい(> +/- 30%)場合に考えられる解決策の基礎を理解するために利用できるデータはほとんどありません。

次ページの 2 つのプロットは、めねじ成形中の軸力の消費を示しています。水平スケールは度単位の回転です。左の縦軸は軸力で、キロニュートンで測定され、赤い線で示されます。右の縦軸は、ニュートンメートルで測定され、ブルーの線としてトレースされた対応する入力トルクです。最初のプロットは、ドリルおよびタップ穴のマシンねじの典型的なプロットです。2 番目のプロットは、鋳造穴内のスレッドフォーミングファスナーの典型的なプロットです。

最初のプロットからわかるように、ヘッドが着座するまでドリルとタップ穴でマシンねじを回転させると、入力トルクは実質的にゼロになります。接触後、ボルトが伸張するにつれて入力トルクが劇的に上昇し、対応する軸力が増加して、ジョイントが破損します。

2 番目のプロットでは、めねじが鋳造穴に成形されているときに、スレッドフォーミングファスナーの回転に伴って入力トルクが増加します。ファスナーのヘッドが着座すると、入力トルクと軸力も劇的に増加します。めねじが成形されるにつれて、線の傾きは変化します。これには、ねじ山の形状、鋳造材料の特性、ファスナーのコーティング、穴のサイズ、抜き勾配角度など、多くの要因が影響します。

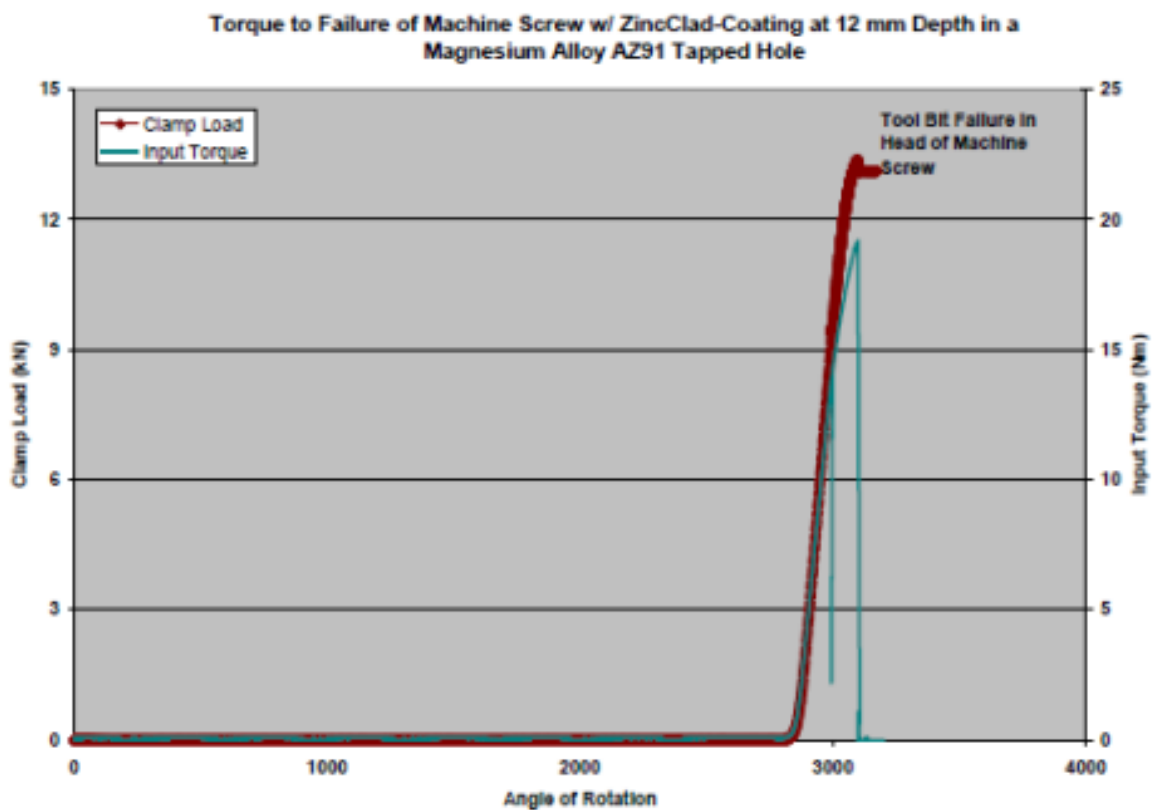


図 7.3 一般的なマシンねじの軸力と入力トルクのプロット



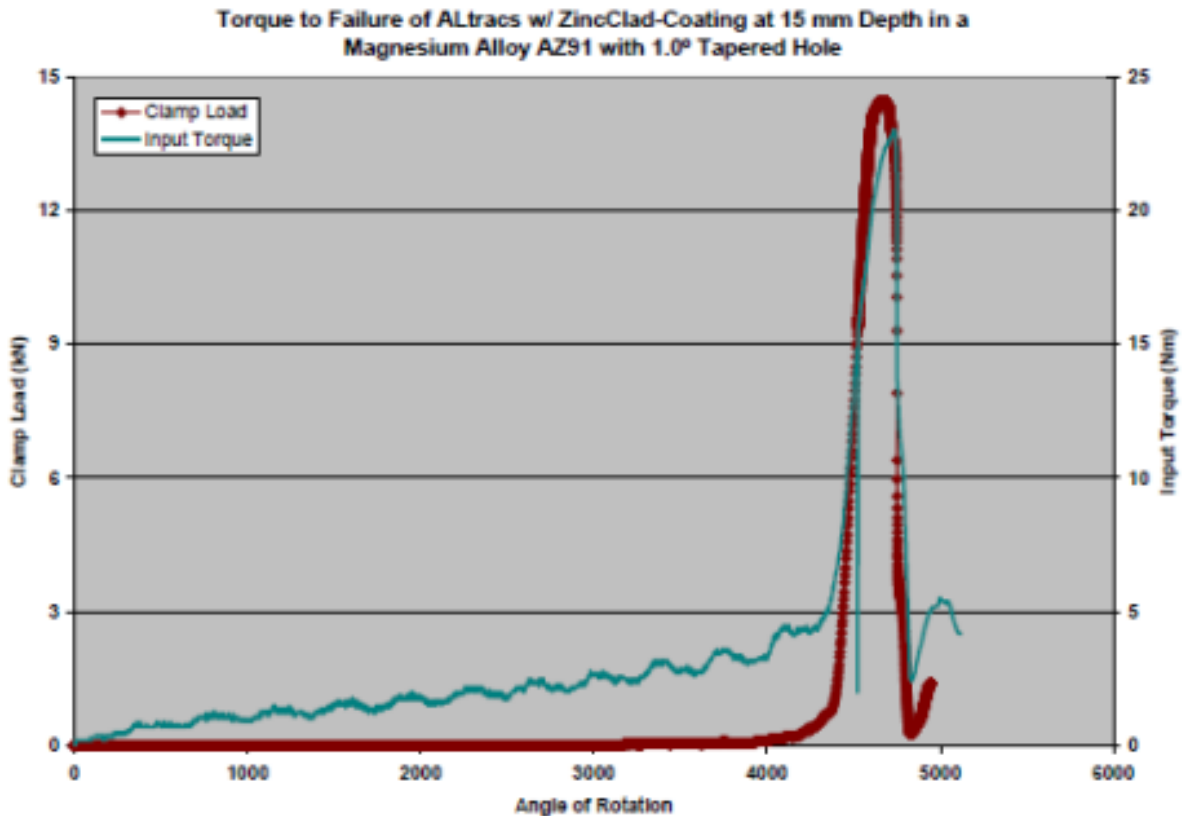


図 7.4 典型的なスレッドフォーミングファスナーの軸力と入力トルクのプロット

## 7.1 目的

このプロジェクトの目的は、アルミニウムとマグネシウムのダイカストの鋳造したままの鋳抜き穴にスレッドフォーミングファスナーの効果を実証することでした。調査すべき主要な問題は次のとおりです。

- アルミニウムまたはマグネシウム鋳造品の軸力と入力トルクの整合性。
- 鋳造ダイが摩耗したときの軸力の一貫性への影響。

このプロジェクトで収集された軸力データは、従来のナットとボルトの組み合わせと比較した場合、鋳造でのスレッドフォーミングファスナーの普及を妨げる重要な問題が存在するかどうかを判断します。ナットまたはドリル穴とタップ穴の従来のマシンねじは、一定の入力トルクで $\pm 30\%$ の範囲の軸力を実現します。

## 7.2 アプローチ

高圧ダイカストダイの全ライフサイクルにわたって鑄造時の穴のサイズと形状に期待できる変動の範囲は、Pacific Northwest National Laboratory (PNNL) が完了した以前の研究で確立されました。この確立された変動範囲は、サイトの以前の作業で特定されたサイズとドラフト角度でコアピンを設計することにより、12 の鑄造ボスのセットでキャプチャされました。範囲は、次のグラフに示されています。

Nut Size and Shape Range			
	Critical Diameter	0.5 Degree Draft Angle	1.0 Degree Draft Angle
<b>M6 TAPTITE 2.5 Diameter Depth in A 380 Aluminum</b>			
-0.15 mm	5.29 mm		
-0.10 mm	5.34 mm		
-0.05 mm	5.39 mm		
Nominal	5.44 mm		
+0.05 mm	5.49 mm		
+0.10 mm	5.54 mm		
<b>M6 ALTRACZ 3.0 Diameter Depth in AZ91D Magnesium</b>			
-0.15 mm	5.50 mm		
-0.10 mm	5.55 mm		
-0.05 mm	5.60 mm		
Nominal	5.65 mm		
+0.05 mm	5.70 mm		
+0.10 mm	5.75 mm		
Casting Variation Range from AMD 407			
Fringe (Robustness Indicators)			

表 7.1 鑄造穴サイズのバリエーション

12 の鋳造ボスとナットを備えた既存のダイを使用して、鋳造を作成しました

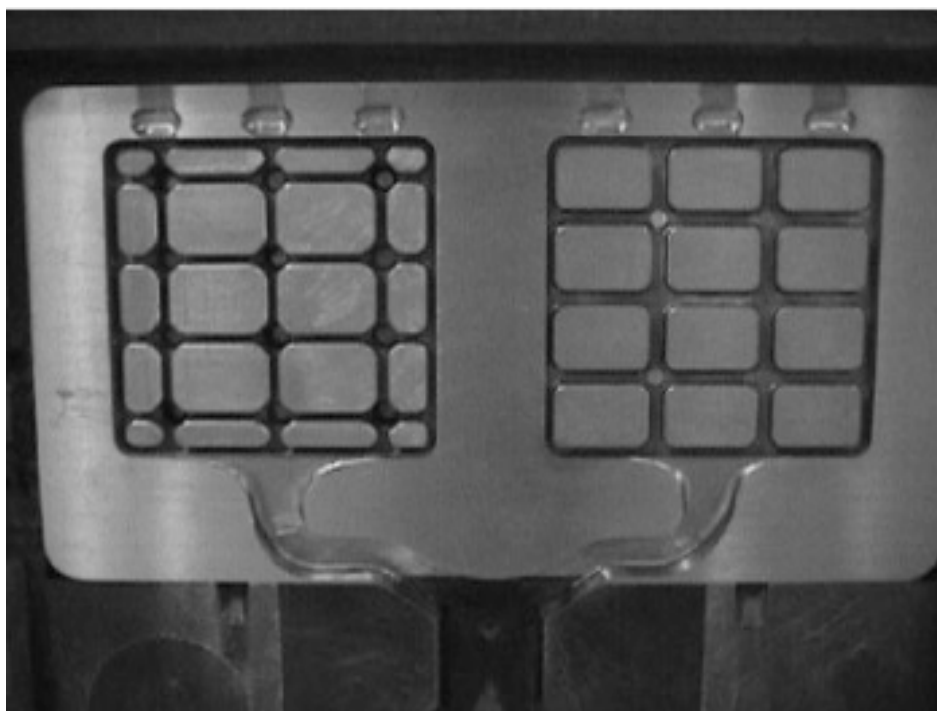


図 7.5 ボス 12 個とナット 12 個のダイ

鋳造ボスは「ナット」にカットされ、Ford Fastener Laboratory のテストセルで使用して、スレッドフォーミングファスナーを鋳造ナットにねじ込んだときの軸力を測定しました。



図 7.6 スレッドフォーミングファスナーと鋳造ナット



図 7.7 フォードファスナーラボ軸力テストセル

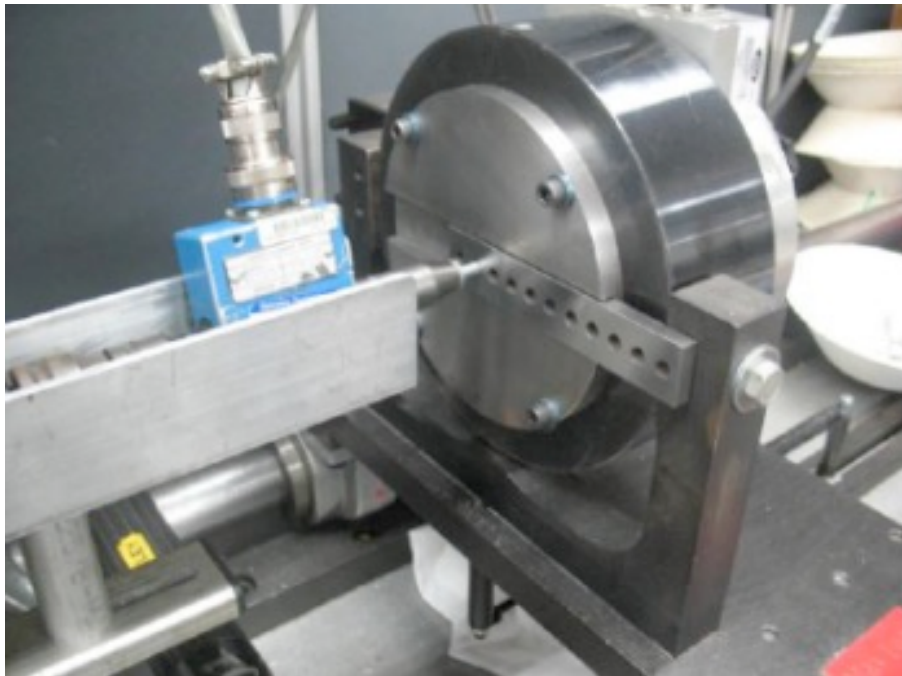


図 7.8 スレッドフォーミングファスナーが鋳造ナットにねじ込まれたロードセル

2 セットの実験が実行されました。まず、ダイカストダイのライフサイクルで予想される形状とサイズのバリエーションの範囲を反映して、一連のアルミニウム鋳造ナットが作成されました。TAPTITE® スレッドフォーミングファスナー(アルミニウム用途に適した広く使用されているスレッドフォーミングファスナー)は、一定の入力トルクでさまざまなコア付きの鋳放しナットにねじ込まれ、軸力が継続的に記録されました。軸力データは、予想される軸力の範囲を決定するために使用されました。ボルトは一定速度(50 RPM)で破損するように駆動されました。18.5 Nm の目標入力に対応する軸力が、各ファスナーについて記録されました。

同様に、鋳造マグネシウムナットと ALtracs スレッドフォーミングファスナー(マグネシウムの用途に適した、広く使用されているスレッドフォーミングファスナー)を使用して、2 番目の実験セットを実行しました。ここでも、すべての軸力が記録され、アルミ鋳造ナットの TAPTITE® と同様に分析されました。

ファスナーのタイプごとに 4 つの一連のテストが行われました。

- 箱から出してすぐ
- 加工油を取り除いた潤滑剤無しボルト
- 過剰な加工油で濡らしたボルト

これらの条件は、自動車製造環境で長期にわたって予想される油性の範囲を表しています。さらに、堅牢性のために一連のテスト実行が行われました(フルライフサイクルでのダイカストダイの予想される摩耗パターンよりも 0.05 mm 大きい穴と小さい穴)。

テストが完了した後、データが要約され、軸力範囲が決定されました。

### 7.3 資格とリソース

プロジェクトディレクターは William Charron です。彼はフォードモーターカンパニーで 34 年以上の経験があり、主に多くのエンジニアリング機能に役立つパワートレインオペレーションを担当しています。彼は、プログラムの立ち上げと高度な製造開発のために、機械加工ラインとプロジェクト管理で幅広い経験を持っています。彼は、USCAR でファスナー開発プロジェクトを指揮した経験があります。彼は技術と管理の両方の修士号を取得しています。

原理調査官(Principle Investigator)は Todd Cleaver です。彼は 35 年間の勤務の後にフォードモーターカンパニーを退職し、製造開発技術サービス会社である Tech Knowledge を立ち上げました。彼のフォードの経験は鋳造と機械加工にあり、20 年以上に渡って高度なエンジニアリングプロジェクトの管理に携わっていました。彼は鋳造とファスナー開発プロジェクトの両方で特別な経験を持っています。彼は工学の学士号と管理の修士号を取得しています。

テストラボのスーパーバイザーは Adrian Cockman です。エイドリアンはフォードモーターカンパニーで 30 年の経験があり、すべてファスナーの開発と応用に焦点を当てていました。彼はこのプロジェクトのすべてのファスナーテストを監督し、データの分析において重要な役割を果たしました。

彼は工学の学位を持っています。

プロジェクトチームは、米国の自動車業界、ファスナー製造業界、鋳造供給基地、および貿易組織の代表者で構成されていました。

プロジェクトチームは、作業計画に記載されている作業に必要なすべての鋳造ナットとワッシャーを納品するのに適した 12 ボスのダイカストダイにアクセスできます。必要なすべての鋳造ナットとワッシャーの迅速な配達を保証するために、十分な生産能力が地元のダイカストおよび機械加工ジョブショップで利用可能でした。

フォードファスナー研究所はすべてのファスナーテストを行いました。RS テクノロジー製ロードセル評価装置、Micro Control 製 MC900 データ収集システム、幅広いトルクレンジのドライバー、トランスデューサーなどと経験豊富なスタッフを含む、最先端のファスナーテストハードウェアと機器をすべて備えています。

## 8.0 結果と考察

結果は、アルミダイカストとマグネシウムダイカストの別々のセクションに分かれています。

### 8.1 アルミニウム鑄造

このタスクは、通常のデューティサイクル中に高圧ダイカストダイで通常発生する穴の形状とサイズの変動の全範囲にわたって軸力値の全範囲を決定するために設計されました。さらに、一部の穴の形状とサイズは、通常の範囲のすぐ外側で評価され、プロセスの堅牢性の感覚を獲得しました。他の人が行った以前の作業に基づいて、直径とドラフト角度の範囲はすでに確立されています。12 個のボスを備えた利用可能なダイが使用され、コアピンは、確立された形状とサイズを達成するために想定される収縮値で機械加工されました。A380 アルミニウム鑄造品は、テスト用に長方形のナットにカットされました。公称穴サイズは、ファスナーを提供するボルトメーカーによって決定され、チームにも技術的なアドバイスを提供しました。スレッドフォーミングファスナーは、Taptite (アルミニウムアプリケーションに適した、広く使用されているスレッドフォーミングファスナー) でした。ファスナーの公称サイズは M6 でした。標準のファスナーコーティングがすべてのファスナーに適用されました

すべてのテストは、スレッドフォーミングファスナーを各ナットにねじ込んだときの軸力を測定するロードマスターテストセルを備えた自動車用ファスナーラボで行われました。最初に、いくつかのスレッドフォーミングファスナーを公称直径、0.5%の抜き勾配、さまざまな入力トルクでのナットにねじ込み、残りのテスト全体で使用されるトルク設定を確立しました。選択した入力トルクは、9.5～10.0 kN の軸力に対応しました。これは、アルミニウムの一般的な M6 ファスナーに通常予想される軸力です。選択した一定の入力トルクで、ナットの各サイズと形状に最低 30 個のファスナーをねじ込み、評価と分析のためのデータベースを確立しました。

#### 8.1A 箱から取り出した状態のファスナー

最初の焦点は、3 つの異なる生産鑄造で測定された典型的な経験について、Pacific Northwest National Laboratory で行われた作業によって確立された鑄造穴のサイズと形状の変動範囲にありました。コアのある穴のサイズごとに、30 個の新しいボルトが箱から出してすぐに 30 個の新しい鑄造ナットにねじ込まれ、データが記録されました。データを次のグラフにまとめます。

USCAR FAS1005/ DOE 003482 Project						
Full Range of Variation						
M6x1.0 Taptite Fasteners in Aluminum Castings.						
2.5 diameter depth (15 mm).						
Pin ID	A	B	D	E	I	J
Draft Angle	0.5 Deg.	0.5 Deg.	0.5 Deg.	0.5 Deg.	1.0 Deg.	1.0 Deg.
Diameter	Nominal	Nom + .05	Nom - .05	Nom - .10	Nom - .05	Nom - .10
Ultimate Mode	Fractured	Fractured	Fractured	Fractured	Strip/Fracture	Fractured
Load at 18.5 Nm	KN	KN	KN	KN	KN	KN
MEAN	9.224	9.060	8.932	8.631	9.356	9.248
STD DEV	0.549	0.407	0.618	0.405	0.327	0.455
X-3STD	7.577	7.837	7.077	7.415	8.374	7.883
X+3STD	10.670	10.282	10.787	9.847	10.337	10.614
MIN	8.110	8.220	7.640	7.780	8.691	7.945
MAX	10.237	9.679	10.282	9.347	10.017	10.335
Peak Load	Peak KN	Peak KN	Peak KN	Peak KN	Peak KN	Peak KN
MEAN	12.335	11.497	12.954	13.221	11.397	11.995
STD DEV	0.573	0.425	0.593	0.409	0.318	0.522
X-3STD	10.616	10.223	11.175	11.995	10.443	10.428
X+3STD	14.054	12.770	14.733	14.448	12.351	13.562
MIN	10.574	10.508	11.535	12.231	10.939	10.475
MAX	13.159	12.198	14.088	13.922	12.032	13.027
Torque at Peak Load	Torque Nm	Torque Nm	Torque Nm	Torque Nm	Torque Nm	Torque Nm
MEAN	24.055	23.660	24.401	24.723	23.453	24.052
STD DEV	0.540	0.589	0.453	0.442	0.473	0.418
X-3STD	22.435	21.893	23.043	23.396	22.034	22.798
X+3STD	25.676	25.428	25.760	26.049	24.872	25.307
MIN	22.615	22.728	23.622	23.735	22.488	23.319
MAX	24.842	25.220	25.473	25.549	24.604	25.247
Drive Torque	Drive Torque Nm	Drive Torque Nm	Drive Torque Nm	Drive Torque Nm	Drive Torque Nm	Drive Torque Nm
MEAN	6.294	5.294	7.442	8.148	5.101	6.620
STD DEV	0.558	0.448	0.703	0.574	0.503	0.411
X-3STD	4.626	3.951	5.331	6.425	3.592	5.389
X+3STD	7.962	6.637	9.552	9.872	6.610	7.852
MIN	4.757	4.266	6.047	6.690	3.364	5.783
MAX	7.290	6.229	9.071	9.071	6.085	7.370

表 8.1 アルミ製鋳造穴のサイズ的全範囲の変動について記録されたデータ、箱から出してすぐのファスナー

18.5 Nm の入力トルクでの結果は、7.640 KN の最小軸力と 10.335 KN の最大軸力を示しました。軸力の変動の範囲は、鋳造穴のサイズ的全範囲にわたって 8.9875 KN +/- 15.0%でした。



+/- 3 標準偏差を使用した統計範囲は、より高い結果を示しました。最小軸力は 7.077 KN で、最大は 10.870 KN でした。軸力変動の統計的範囲は、鑄造穴サイズの全範囲にわたって 8.9735 KN +/- 21.1% でした。

### 8.1B 無潤滑および潤滑ファスナー

次の一連のテストは、鑄造穴のサイズと形状の同じ範囲の変動についてでした。最もタイトでルーズなホールのみがテストされました。潤滑剤無しボルトテストではボルトを溶剤で洗浄し、潤滑テストではボルトを加工液で拭きました。これらの条件は、製造環境で発生する可能性のある極端な油性を表しています。コアのある穴のサイズごとに、10 個の新しいボルトを 10 個の新しい鑄造ナットにねじ込み、データを記録しました。データを次のグラフにまとめます。

USCAR FAS1005/DOE 003482 Project				
Dry and Lubed Conditions Range of Variation				
M6x1.0 Taptite Fasteners in Aluminum Castings.				
2.5 diameter depth (15 mm).				
Pin ID	B	E	I	J
Draft Angle	0.5 Deg.	0.5 Deg.	1.0 Deg.	1.0 Deg.
Diameter	Nom + .05	Nom - .10	Nom - .05	Nom - .10
	DRY	DRY	DRY	DRY
Load at 18.5 Nm	KN	KN	KN	KN
MEAN	9.229	9.060	9.156	8.993
STD DEV	0.353	0.691	0.305	0.236
X-3STD	8.170	6.988	8.240	8.285
X+3STD	10.288	11.132	10.072	9.700
MIN	8.869	8.312	8.968	8.803
MAX	9.575	9.674	9.508	9.257
	LUBED	LUBED	LUBED	LUBED
Load at 18.5 Nm	KN	KN	KN	KN
MEAN	11.178	11.925	11.163	11.771
STD DEV	0.084	0.931	0.555	0.270
X-3STD	10.927	9.130	9.498	10.960
X+3STD	11.429	14.719	12.827	12.582
MIN	11.122	10.860	10.535	11.542
MAX	11.274	12.589	11.589	12.069

表 8.2 アルミニウム製鑄造穴のサイズの全範囲の変化に対して記録された無潤滑及び潤滑ファスナーのデータ

18.5 Nm の入力トルクでの結果は、8.313 KN の最小軸力と 12.589 KN の最大軸力を示しました。軸力の変動範囲は、選択した範囲の鑄造穴サイズで 10.451 KN +/- 20.5%でした。

+/- 3 標準偏差を使用した統計範囲は、より高い結果を示しました。最小軸力は 6.988 KN で、最大は 14.719 KN でした。軸力の変動の統計的範囲は、選択した範囲の鑄造穴サイズで 10.8535 KN +/- 35.6%でした。

### **8.1C 堅牢性テスト**

次の一連のテストは、鑄造穴のサイズと形状のさまざまなバリエーションに対するものでした。目的は、穴のサイズが Pacific Northwest National Laboratory によって確立された範囲より.05 mm 大きいか小さい場合に、軸力の変動がどうなるかを確認することでした。最もタイトでルーズなホールのみがテストされました。これらのテストのボルトは箱から直接取り出されました。潤滑または乾式ボルトは考慮されていません。コアのある穴のサイズごとに、10 個の新しいボルトを 10 個の新しい鑄造ナットにねじ込み、データを記録しました。データを次のグラフにまとめます。

USCAR FAS1005/DOE 003482 Project				
Robustness Range of Variation				
M6x1.0 Taptite Fasteners in Aluminum Castings.				
2.5 diameter depth (15 mm).				
Pin ID	C	F	G	K
Draft Angle	0.5 Deg.	0.5 Deg.	1.0 Deg.	1.0 Deg.
Diameter	Nom + .10	Nom - .15	Nominal	Nom - .15
Ultimate Mode	Fractured	Fractured	Stripped	Fractured
Load at 18.5 Nm	KN	KN	KN	KN
MEAN	8.237	7.704	8.763	9.141
STD DEV	0.498	0.453	0.379	0.401
X -3STD	6.744	6.346	7.625	7.940
X +3STD	9.730	9.061	9.901	10.343
MIN	7.160	6.610	7.345	8.237
MAX	9.109	8.539	9.347	9.977
Peak Load	Peak KN	Peak KN	Peak KN	Peak KN
MEAN	9.902	13.162	10.407	12.262
STD DEV	0.594	0.514	0.467	0.479
X -3STD	8.120	11.620	9.005	10.826
X +3STD	11.685	14.703	11.809	13.698
MIN	8.419	12.231	8.651	11.171
MAX	11.071	13.968	11.137	13.093
Torque at Peak Load	Torque Nm	Torque Nm	Torque Nm	Torque Nm
MEAN	23.093	24.785	23.122	24.162
STD DEV	0.515	0.316	0.413	0.509
X -3STD	21.547	23.838	21.883	22.634
X +3STD	24.639	25.732	24.362	25.690
MIN	22.350	24.175	22.148	23.168
MAX	24.729	25.686	24.062	25.020
Drive Torque	Drive Torque Nm	Drive Torque Nm	Drive Torque Nm	Drive Torque Nm
MEAN	4.271	10.244	4.554	7.241
STD DEV	0.514	0.696	0.457	0.585
X -3STD	2.729	8.157	3.182	5.487
X +3STD	5.813	12.332	5.925	8.996
MIN	3.436	9.292	3.439	5.858
MAX	5.927	12.541	5.253	8.315

表 8.3 アルミニウムの鋳造穴サイズ変動のロバスト性範囲について記録されたデータ

18.5 Nm の入力トルクでの結果は、6.610 KN の最小軸力と 9.977 KN の最大軸力を示しました。軸力の変動範囲は、選択した範囲の鋳造穴サイズで 8.2935 KN +/- 20.3%でした。

+/- 3 標準偏差を使用した統計範囲は、より高い結果を示しました。最小軸力は 6.346 KN で、最大は 10.343 KN でした。軸力の変動の統計的範囲は、選択した範囲の鋳造穴サイズで 8.3445 KN +/- 23.9%でした。

## 8.2 マグネシウム鋳造

マグネシウム鋳造作業は、ファスナースタイルと鋳造材料を置き換えたアルミニウム鋳造作業の複製でした。この作業では、AZ91D マグネシウム鋳造ナットで、ALtracs スレッドフォーミングファスナー(マグネシウム用途に適した広く使用されているスレッドフォーミングファスナー)を評価しました。

### 8.2A 箱から取り出した状態のファスナー

最初の焦点は、3 つの異なる生産鋳造で測定された典型的な経験について、Pacific Northwest National Laboratory で行われた作業によって確立された鋳造穴のサイズと形状の変動範囲にありました。コアのある穴のサイズごとに、30 個の新しいボルトが箱から出してすぐに 30 個の新しい鋳造ナットにねじ込まれ、データが記録されました。データを次のグラフにまとめます。

USCAR FAS1005/ DOE 003482 Project						
Full Range of Variation						
M6x1.0 ALtracs Fasteners in Magnesium Castings.						
3.0 diameter depth (18 mm).						
Pin ID	A	B	D	E	I	J
Draft Angle	0.5 Deg.	0.5 Deg.	0.5 Deg.	0.5 Deg.	1.0 Deg.	1.0 Deg.
Diameter	Nominal	Nom + .05	Nom - .05	Nom - .10	Nom - .05	Nom - .10
Ultimate Mode	Stripped	Stripped	Stripped	Stripped	Stripped	Stripped
Load at 10.6 Nm	KN	KN	KN	KN	KN	KN
MEAN	9.225	8.781	9.387	9.228	9.172	9.058
STD DEV	0.378	0.542	0.569	0.479	0.508	0.498
X -3STD	8.09	7.158	7.68	7.791	7.848	7.571
X +3STD	10.38	10.408	11.094	10.685	10.698	10.548
MIN	8.575	7.962	8.472	8.313	8.167	7.876
MAX	10.087	9.765	11.051	10.143	10.508	10.209
Peak Load	Peak KN	Peak KN	Peak KN	Peak KN	Peak KN	Peak KN
MEAN	14.553	12.154	15.923	16.628	15.578	16.592
STD DEV	0.365	0.433	0.388	0.249	0.319	0.228
X -3STD	13.368	10.854	14.768	15.879	14.621	15.91
X +3STD	15.737	13.454	17.08	17.372	16.535	17.275
MIN	13.889	11.237	14.618	16.242	14.883	16.076
MAX	15.48	13.128	16.507	17.071	16.275	17.071
Torque at Peak Load	Torque Nm	Torque Nm	Torque Nm	Torque Nm	Torque Nm	Torque Nm
MEAN	18.53	17.289	18.504	18.411	18.313	18.192
STD DEV	0.669	1.132	0.685	0.527	0.412	0.489
X -3STD	16.523	13.892	16.538	16.831	17.076	16.724
X +3STD	20.538	20.688	20.649	19.991	19.55	19.66
MIN	16.714	14.483	16.403	16.923	17.481	17.301
MAX	19.684	18.758	19.945	19.378	19.048	19.152
Drive Torque	Drive Torque Nm	Drive Torque Nm	Drive Torque Nm	Drive Torque Nm	Drive Torque Nm	Drive Torque Nm
MEAN	2.421	2.081	2.835	3.225	3.117	3.527
STD DEV	0.291	0.273	0.357	0.497	0.277	0.389
X -3STD	1.55	1.241	1.763	1.735	2.286	2.36
X +3STD	3.293	2.881	3.908	4.714	3.947	4.693
MIN	1.929	1.55	2.229	2.115	2.494	2.946
MAX	3.025	2.838	3.664	4.231	3.628	4.382

表 8.4 マグネシウムの鋳造穴のサイズ的全範囲の変化について記録されたデータ、箱から取り出した状態のファスナーを使用

18.5 Nm の入力トルクでの結果は、7.876 KN の最小軸力と 11.051 KN の最大軸力を示しました。軸力変動の範囲は、鋳造穴のサイズ的全範囲にわたって 9.4635 KN +/- 16.8% でした。

+/- 3 標準偏差を使用した統計範囲は、より高い結果を示しました。最小軸力は 7.156 KN で、最大は 11.094 KN でした。軸力変動の統計的範囲は、鑄造穴サイズの全範囲にわたって 9.125 KN +/- 21.6%でした。

## 8.2B 無潤滑および潤滑ファスナー

次の一連のテストは、鑄造穴のサイズと形状の同じ範囲の変動についてでした。最もタイトでルーズなホールのみがテストされました。潤滑剤無しボルトテストではボルトを溶剤で洗浄し、潤滑テストではボルトを加工液で拭きました。これらの条件は、製造環境で発生する可能性のある極端な油性を表しています。コアのある穴のサイズごとに、10 個の新しいボルトを 10 個の新しい鑄造ナットにねじ込み、データを記録しました。データを次のグラフにまとめます。

USCAR FAS1005/DOE 003482 Project				
Dry and Lubed Conditions Range of Variation				
M6x1.0 ALtracs Fasteners in Magnesium Castings.				
3.0 diameter depth (18 mm).				
Pin ID	B	E	I	J
Draft Angle	0.5 Deg.	0.5 Deg.	1.0 Deg.	1.0 Deg.
Diameter	Nom + .05	Nom - .10	Nom - .05	Nom - .10
	DRY	DRY	DRY	DRY
Load at 18.5 Nm	KN	KN	KN	KN
MEAN	8.711	9.353	9.362	8.812
STD DEV	0.490	0.520	0.399	0.351
X-3STD	7.240	7.794	8.165	7.758
X+3STD	10.182	10.912	10.558	9.866
MIN	8.213	8.680	8.614	8.279
MAX	9.803	10.499	9.806	9.276
	LUBED	LUBED	LUBED	LUBED
Load at 18.5 Nm	KN	KN	KN	KN
MEAN	9.342	10.334	10.411	10.513
STD DEV	0.252	0.372	0.096	0.089
X-3STD	8.586	9.217	10.124	10.306
X+3STD	10.097	11.452	10.697	10.720
MIN	9.074	10.101	10.300	10.436
MAX	9.575	10.764	10.466	10.568

表 8.5 マグネシウム製鑄造穴サイズの全範囲の変化に対して記録されたデータ、無潤滑および潤滑ファスナーを使用

18.5 Nm の入力トルクでの結果は、8.213 KN の最小軸力と 10.764 KN の最大軸力を示しました。軸力の変動範囲は、選択した範囲の鑄造穴サイズで 9.4885 KN +/- 13.4%でした。

+/- 3 標準偏差を使用した統計範囲は、より高い結果を示しました。最小軸力は 7.240 KN、最大は 11.452 KN でした。軸力の変動の統計的範囲は、選択した範囲の鑄造穴サイズで 9.346 KN +/- 22.5%でした。

## 8.2C 堅牢性テスト

次の一連のテストは、鑄造穴のサイズと形状のさまざまなバリエーションに対するものでした。目的は、穴のサイズが Pacific Northwest National Laboratory によって確立された範囲より.05 mm 大きいか小さい場合に、軸力の変動がどうなるかを確認することでした。最もタイトでルーズなホールのみがテストされました。これらのテストのボルトは箱から直接取り出されました。潤滑または乾式ボルトは考慮されていません。コアのある穴のサイズごとに、10 個の新しいボルトを 10 個の新しい鑄造ナットにねじ込み、データを記録しました。データを次のグラフにまとめます。

USCAR FAS1005/DOE 003482 Project				
Robustness Range of Variation				
M6x1.0 ALtracs Fasteners in Magnesium Castings.				
3.0 diameter depth (18 mm).				
Pin ID	C	F	G	K
Draft Angle	0.5 Deg.	0.5 Deg.	1.0 Deg.	1.0 Deg.
Diameter	Nom + .10	Nom - .15	Nominal	Nom - .15
Ultimate Mode	Stripped	Stripped	Stripped	Stripped
Load at 10.6 Nm	KN	KN	KN	KN
MEAN	8.23	9.178	9.139	8.879
STD DEV	0.459	0.487	0.374	0.544
X-3STD	6.853	7.718	8.016	7.248
X+3STD	9.607	10.638	10.262	10.51
MIN	7.316	8.416	8.466	7.823
MAX	9.086	10.216	9.944	10.037
Peak Load	Peak KN	Peak KN	Peak KN	Peak KN
MEAN	10.069	16.798	13.99	16.791
STD DEV	0.344	0.217	0.459	0.194
X-3STD	9.036	16.146	12.614	16.208
X+3STD	11.103	17.449	15.367	17.374
MIN	9.016	16.342	13.126	16.308
MAX	10.475	17.071	14.784	17.369
Torque at Peak Load	Torque Nm	Torque Nm	Torque Nm	Torque Nm
MEAN	15.233	18.04	17.469	17.725
STD DEV	1.128	0.36	0.728	0.433
X-3STD	11.848	16.96	15.287	16.427
X+3STD	18.618	19.12	19.652	19.023
MIN	12.744	17.414	15.752	16.772
MAX	16.752	18.68	18.698	18.509
Drive Torque	Drive Torque Nm	Drive Torque Nm	Drive Torque Nm	Drive Torque Nm
MEAN	1.703	3.668	2.62	3.966
STD DEV	0.149	0.445	0.217	0.355
X-3STD	1.256	2.332	1.97	2.901
X+3STD	2.15	5.004	3.271	5.031
MIN	1.361	2.909	2.191	3.173
MAX	1.966	4.495	3.06	4.911

表 8.6 マグネシウム製鋳造穴サイズ変動のロバスト性範囲について記録されたデータ



18.5 Nm の入力トルクでの結果は、7.316 KN の最小軸力と 10.216 KN の最大軸力を示しました。軸力の変動範囲は、選択した範囲の鑄造穴サイズで 8.766 KN +/- 16.5%でした。

+/- 3 標準偏差を使用した統計範囲は、より高い結果を示しました。最小軸力は 6.853 KN で、最大は 10.343 KN でした。軸力の変動の統計的範囲は、選択した範囲の鑄造穴サイズで 8.598 KN +/- 20.3%でした。

### 8.3 ディスカッション

ばらつきを可能な限り低いレベルに維持することは、すべての製造工程で共通の目的です。多くの場合、変動は品質と顧客満足度の問題の根本にあります。プロセス分析の変動を測定するために使用される一般的なツールの 1 つは、標準偏差です。平均に対するプラスまたはマイナス 3 の標準偏差は、プロジェクトチームにとって最適な測定基準です。したがって、それは結果を要約するために使用されるデータです。簡単な計算は次のとおりです。

$$+ \text{範囲} = \frac{((x + 3\text{std})) - ((x + 3\text{std}) + (x - 3\text{std})) / 2}{(((x + 3\text{std}) + (x - 3\text{std})) / 2)}$$

$$- \text{範囲} = \frac{((x - 3\text{std})) - ((x + 3\text{std}) + (x - 3\text{std})) / 2}{(((x + 3\text{std}) + (x - 3\text{std})) / 2)}$$

どこ:

$x + 3\text{std}$  =それぞれのファスナーセットの平均プラス 3 標準偏差

$x - 3\text{std}$  =それぞれのファスナーセットの平均マイナス 3 標準偏差

さまざまなテスト実行の結果を次の表にまとめます。

Summary of Clamp Load Variation Results			
	This Project		Previous Battelle Project
	Clamp Load Results		Clamp Load Results
TAPTITE Fasteners in Aluminum Cast Holes	Avg.	+/- 3STD Variation	+/- 3STD Variation
Full Range (Out of Box Fasteners)	8.9735	+/- 21.1%	+/- 19.5%
Full Range (Dry and Lubed Fasteners)	10.8535	+/- 35.6%	+/- 40%
Robustness Range (Out of Box Fasteners)	8.3445	+/- 23.9%	
ALtracs Fasteners in Magnesium Cast Holes			
Full Range (Out of Box Fasteners)	9.125	+/- 21.6%	
Full Range (Dry and Lubed Fasteners)	9.346	+/- 22.5%	
Robustness Range (Out of Box Fasteners)	8.598	+/- 20.3%	

表 8.7 軸力変動結果のまとめ

上の表は、このプロジェクトで行われた6セットの実験の結果をまとめたものです。この表には、以前の作業(参照:USCAR プロジェクト JNG 601 を参照)の結果も示されています。これは、標準の M8 ボルトに標準の M8 ボルトを使用して Battelle プロジェクトの同じテストセルで実行されました。Battelle の作業結果は、標準のボルトとナットのアプリケーションの比較基準として含まれています。

アルミ鋳造穴のスレッドフォーミングファスナーの結果は、箱から出してすぐのファスナーでの堅牢性範囲のテストで +/- 30% の業界の期待の範囲内です。無潤滑と潤滑の極限状態の結果は、業界の予想よりわずかに高く、+/- 35.6% です。ただし、標準のボルトとナットの実際の Battelle の結果 (+/- 40%) と比較すると、スレッドフォーミングファスナーのパフォーマンスはわずかに優れています。

マグネシウム鋳造穴のスレッドフォーミングファスナーの結果は、3つの条件すべてで +/- 30% の業界の期待の範囲内です。

堅牢性の範囲(フルライフサイクルでのダイカストダイの予想摩耗パターンよりも 0.05mm 大きい穴と小さい穴)の結果も、標準のねじファスナーに対する業界の期待の範囲内でした。これらの結果は非常に有望でした。

## 9.0 メリットの評価

### 9.1 従来のねじ付きファスナーを超える利点

特にファスナーを鋳抜き穴に直接適用できる場合は、スレッドフォーミングファスナーを適用することで製造業者にいくつかの利点があります。最も重要なことは、いくつかの高価で資本集約的な機械加工作業の排除です。現在の方法では、完全な閉塞されていない穴が完成したことを確認するために、ドリル作業に続いてブロービングステーションが必要です。これに続いてタッピング操作と洗浄プロセスが続き、前工程から生じるすべての切りくずや破片が穴から確実に除去されるようにします。全体にゲーシングが必要です。さらに、非常に重要な切削液と切りくずの除去システムが必要です。この新しいテクノロジーが完全に開発され、同等の軸力を達成できる場合、これらの手順のすべては必要ありません。

北米の自動車業界で実施された独自の調査によると、一般的なパワートレイン(エンジンまたはトランスミッション)プラントのすべての加工エネルギーの少なくとも 30%は、ファスナー用の穴あけとタッピングで消費されています。国内の自動車業界における他の最近の独自の調査によると、ファスナー1個あたりの運用コストが 0.07~0.09ドル節約されています。

考慮すべきいくつかの追加の利点があります。

- 斜め噛み込みが全く発生しないので、生産性・品質が向上し、保証の心配が少なくなります。
- めねじ成形中のコールドフロー加工硬化によるより強いめねじ
- 切りくずの取り扱いと再処理の排除
- ローブデザインの優れた耐振動性により、ロックワッシャーなどのファスナーロック機能が不要になり、きしみ音やガラガラ音の保証が少なくなります。
- 加工切削液の排除による環境改善
- 軽量材料(Al。と Mg。)と鉄系材料のコスト差を削減することで、軽量材料の代替(CAFÉ の改善)を実現します。

要約すると、完全に実装すると、スレッドフォーミングファスナーの適用により、以下のアイテムを削減することができます。穴あけとタッピングのためのマシニングセンター、ゲーシングステーション、ブロービングとクリーニングのための自動ステーション、ステーション間のワークの搬送、マシニングセンターの切削液システム、切りくずのハンドリング、および回収システム、重要な製造フロアスペース、および HVAC、照明、人員の必要性や利便性などに関連する建築設備。

## 9.2 自動車用アプリケーション

### 9.2A 潜在的なエネルギー利益

平均的な自動車のパワートレイン(エンジン、トランスミッションからリアアクスル)には、500 を超えるねじ付きファスナーがあります。これらのファスナーの少なくとも 60%は、スレッドフォーミングファスナーに置き換えるための現実的な候補です。米国の自動車メーカーの 1 社における独自の企業プラントエンジニアリング調査では、自動車のパワートレインプラントでの機械加工がユニット(車両)あたり 0.90 mmBtu(英熱量)を占めると見積もられています。また、そのエネルギーの 30%は、ドリルおよびタップ穴を作成することで特定された、と推定されました。ドリル穴とタップ穴の 60%を排除できると仮定すると、一般的な自動車用パワートレインのエネルギー節約の計算は次のようになります。

0.90 mmBtu(英熱量) /ユニットまたは 0.162 mmBtu(英熱量) /ユニットの 30%の 60%。  
北米で年間 1,600 万ユニットのパワートレインが生産されている場合、結果として生じるエネルギー節約は次のようになります。

0.162mmBtu(英熱量) /ユニット x 1600 万ユニット/年、イコール 2.59 兆 Btu(英熱量) /年。

スレッドフォーミングファスナーに変更できると推定される200ヶ所の締結部が、シャーシ(コントロールアーム、サスペンション)、大型鋳造ボディー構造部品(インナードア、リフトゲート、ボンネットのアタッチメントとサポート)、およびインテリアアセンブリ(インストルメント パネル、ステアリングコラム、シート構造および各種アクセサリ)にあります。潜在的なパワートレインの節約に比例するエネルギー節約を達成できれば、この分野でさらに 1.73 兆 Btu(英熱量) /年を実現できます。

したがって、特定された直接エネルギー節約の合計は、4.32 兆 Btu(英熱量) /年です。スレッドフォーミングファスナーの使用で不要となる以下の削減でさらにエネルギーを節約できます。

- ロックワッシャーなどのロック材料や Locktite などの固定液の製造エネルギーの削減。
- ドリル、タップ、プルーブ、ゲージの排除による工具製造エネルギー消費の排除。
- マグネシウム鋳造品でアルミニウムスレッドフォーミングファスナーを機能させることができる場合、腐食防止絶縁ワッシャー、スリーブ、および分離プレートをなくすことができ、部品とそれに対応する製造エネルギー消費をさらに削減できます。
- 扱う部品が少ないと、組立作業のエネルギー消費も減少します

切りくずと切削液の再処理と廃棄をなくすことで、さらにエネルギーを節約できます。最後に、新しいモデルラインや新設工場でのマシニングセンター、自動化、切りくず処理、切削液処理のスペースを構築する必要がないことによるエネルギー節約等、大幅な 1 回限りのエネルギー節約も追加できます。

最終的に、北米の自動車業界でこのテクノロジーが完全に実装された場合、年間 5 兆 Btu(英熱量) /年を超える可能性があるようです。

## 9.2B 潜在的な経済的利益

最近の独自の自動車研究では、鋳造軽金属部品のドリル+タップ穴で従来のねじファスナーをスレッドフォーミングファスナーに置き換えると、ファスナーあたり 0.07 ドルから.09 ドルの完全な運用コストの節約が達成できることが示されています。これらの調査で考慮された要素は、直接的および間接的な労働力、エネルギー、メンテナンス、工具、資産の償却、切りくずと冷却の取り扱いコスト、品質の向上などです。軸力の保持特性の改善とコストのかかる処理の排除による保証コストの削減は、調査された上記のコスト削減を上回っています。

## 9.2C 潜在的な環境上の利点

潜在的なエネルギーの利点に関する以前の議論からの同じ仮定を使用して、

車両あたり 500 のスレッドフォーミングファスナー。

北米で製造された年間 1,600 万台の車両。

実装されたスレッドフォーミングファスナーあたり平均 0.08ドルの運用コスト削減

北米の自動車製造だけでも、年間の経済的利益の合計は年間 6 億 4 千万ドルになります。

前のセクションで説明したように、機械加工を省くことで節約されたエネルギーの結果として、温室効果ガスの排出量が直接削減されます。特定されたすべてのエネルギーは電力であると仮定していますが、床面積の減少は天然ガスの使用にも影響します。DOE-OIT の省エネルギーワークシートによると、電力の生産により、1 兆 Btu(英熱量)あたりの二酸化炭素排出量は 0.019 百万トンに相当します。ワークシートはまた、以下の温室効果ガス排出率での電力生産の結果をポンド/MMBtu(英熱量)で示しています。

VOC	NOX	CO	SO2	PM10	PM25	Other
0.004409	0.377305	0.041573	0.617609	0.013228	0.008225	0.006

技術が完全に実装され、少なくとも 5 兆 BTU(英熱量)の電気エネルギー節約が毎年達成されると、少なくとも 1 億 9000 万ポンド(86百万トン)の炭素当量が削減されます。

温室効果ガスの排出削減は、年間数千ポンドになります。

VOC	NOX	CO	SO2	PM10	PM25	Other
22	1887	208	3088	66	41	30

温室効果ガスの排出量の改善に加えて、数値では推定されていませんが、切削液と切りくずが排除されることによりリサイクルが不要となるので、さらに環境が改善されます。

### 9.3 自動車以外のアプリケーション

北米の自動車業界以外の多くの市場も、このテクノロジーの影響を同様に受けます。スレッドフォーミングファスナーは、アタッチメントに対応するためにアルミニウムまたはマグネシウムの鋳造部品とドリルとタップを使用するあらゆる業界に同様の利点をもたらします。これらの産業には、大型トラック、農機具、軍用、船舶用、重建設用機器、園芸用機器、レクリエーション用車両、航空宇宙などがあります。洗濯機や乾燥機などの特定の主要な電気製品も影響を受ける可能性があります。

自動車用途以外におけるスレッドローリングファスナーの可能性						
製品群	年間生産台数	台あたり ファスナー 使用本数	右本数の50%を スレッドローリング ファスナーに変更	年間 スレッドローリング ファスナー使用本数	年間 エネルギー 削減量	年間 経済効果
	(単位:百万)	(単位:本)		(単位:百万本)	(単位:兆BTU)	(単位:百万ドル)
大型トラック&建機	2	400	200	400	0.216	32
オートバイ	1.1	100	50	55	0.0297	4.4
家電製品	15	30	15	225	0.1215	18
台所用品	15	10	5	75	0.0405	6
ガーデニング製品	5	30	15	75	0.0405	6
農業用機械	1	300	150	150	0.081	12
航空宇宙	0.25	1000	500	125	0.0675	10
船舶	1	400	200	200	0.108	16
レクリエーション車両	0.1	400	200	20	0.0108	1.6
事務用機器	1	200	100	100	0.054	8
軍用機器				500	0.27	40
合計				1925	1.0395	154

表 9.1 自動車以外のアプリケーションの推定エネルギー削減量と経済効果

これらの推定値のいくつかの出典は、このドキュメントの「参照」セクションに記載されています。

## 9.4 全体的なメリット

このテクノロジーの全体的な利点は、自動車アプリケーションと非自動車アプリケーションの組み合わせです。したがって、完全な実装では、合計で 6 兆 Btu(英熱量)を超えるエネルギー節約が見積もられます(自動車 5 兆、非自動車 1 兆)。年間の経済効果の合計は約 8 億ドルと推定されています。

## 10.0 商業化

このプロジェクトで生成されたデータは、このテクノロジーの幅広い使用に対する重大な障壁の排除に直接つながります。

この技術は完全に商品化されていますが、この研究によって提供された経験とデータが不足しているため、広く使用されていません。テクノロジーの実装は、ファスナーメーカー、ファスナー開発・設計企業、および業界団体である Industrial Fasteners Institute (IFI) の関与によって加速されます。さらに、このレポートは、北米ダイカスト協会 (NADCA) および American Foundry Society (AFS) が利用できるようになります。

USCAR 企業内のファスナーの技術スペシャリストは、この作業を実行するチームの一員であり、この知識を企業に持ち込んで、幅広い実装を活性化します。



## 11.0 成果

### タスク 1.0: 潜在的な利益の評価

最初の潜在的利益評価は第 1 四半期中に完了しました。評価は最新の四半期中に更新され、新しい情報に合わせて調整されました。全体として、タスク 1 が完了すると、自動車やその他の重製造業界全体にスレッドフォーミングファスナーが普及することにより、経済、エネルギー、環境に大きなメリットがもたらされました。

### タスク 2.0: A380 アルミニウムの TAPTITE® ファスナーの軸力範囲を決定する

このタスクは、通常のデューティサイクル中に高圧ダイカストダイで通常発生する穴の形状とサイズの変動の全範囲にわたって軸力値の全範囲を決定するために設計されました。この作業は当初、実際のボルト締め実験を行うために採用された技術者と一緒に考案されました。フォードは実験の実行を志願したため、コスト削減が実現し、コストシェアが増加しました。作業は設計どおりに完了し、結果は良好でした。

### タスク 3.0: AZ91D マグネシウムの ALtracs ファスナーの軸力範囲を決定する

このタスクはタスク 2 の複製でしたが、AZ91D マグネシウム合金の鋳抜き穴に ALtracs ファスナーがありました。フォードがテストを実施したことで、同様のコスト削減が達成されました。タスク 2 と同様に、作業は設計どおりに完了し、結果は良好でした。

### タスク 4.0: プロジェクト管理とレポート

DOE および USCAR の要件を満たすために、すべてのプロジェクト管理および報告手順が確立されました。主要な技術コンサルタントが手術を受け長期の回復期間が必要であったため、プロジェクトは遅れました。ただし、すべてのレポート要件は調整されたタイミング内で達成されました。

この作業による出版物やプレゼンテーションはありません。ただし、最終的な技術レポートは、工業用ファスナー協会 (IFI)、北米ダイカスト協会 (NADCA)、および米国鋳造協会 (AFS) に提供され、メンバーに配布されます。

## 12.0 結論

アルミニウムとマグネシウムの鋳造したままの鋳抜き穴にスレッドフォーミングファスナーが完全に実装された潜在的な利点は、北米のすべての産業で年間 6 兆 Btu(英熱量)、経済的利益は年間 8 億ドル近くと推定されています。このテクノロジーの完全な実装により、環境上のメリットと品質の向上ももたらされます。実装の主なハードルは、望ましい軸力を達成するための自信の欠如です。

軽合金ダイカストにスレッドフォーミングファスナーを実装することに技術者が乗り気がしない場合の主な問題は次のとおりです。

- 軸力と入力トルクの一貫性の証拠がほとんどない
- 鋳造ダイが摩耗したときの軸力の一貫性への影響を理解する既知のデータがない

このプロジェクトで収集された軸力データは、鋳抜き穴の軸力変動の重大度を表しています。この変動範囲を、従来のボルトとナットによる軸力の変動と比較しました。この作業の結果は、スレッドフォーミングファスナーを使用した軸力の変動が、標準の鋼製ボルトおよびナットに対する業界の期待値である $\pm 30\%$ と一致していることを示しています。ダイカスト金型の有効寿命にわたって、アルミニウムまたはマグネシウムの鋳造したままの鋳抜き穴にスレッドフォーミングファスナーを適用することにより、軸力の変動が大幅に増加することはないようです。

特に心強いのは、堅牢性テストの結果でした。予想される穴サイズのばらつきより 0.05mm 大きいおよび小さい鋳造穴であっても、軸力の範囲は業界の予想 $\pm 30\%$ 内に留まりました。

このテクノロジーを自信を持って幅広く実装するための残りのハードルは、経験と設計上の制約であると思われます。

- 製品は、適切な長さのはめ合い長さを保証するように設計する必要があります。鋳造したままの鋳抜き穴では抜き勾配が含まれるため、希望の軸力と破壊モードを実現するには、ねじのはめあい長さが重要です。はめあい長さを維持できない製品では、スレッドフォーミングファスナーが適切に適合しない場合があります。
- すべてのコアピンが適切に監視およびメンテナンスされていることを保証するために、鋳造プロセスと高品質のオペレーティングシステムを調整する必要があります。修理および回復手順を準備する必要があります。

これらの残りのハードルは、思慮深い製品とプロセスの設計で克服できます。

## 13.0 推奨事項

このレポートは、国内の自動車会社および関連するサプライヤーに配布されます。さらに、レポートはファスナーおよび鋳造業界の協会に配布されます。これらの組織には、この情報をさらに配布することが推奨されます。さらに、レポートの受信者は、このテクノロジーを適用して経験と自信を得ることを奨励する必要があります。

## 14.0 リファレンス

「Die Cast Net-Shaped Hole Process Development」、D. M. Paxton、W. A. Charron、T. H. Cleaver、USAMP / DOE Project AMD 407 Final Report、2006 年 9 月

「自動車プラントのボルト締め付けのリアルタイム超音波制御:開発フェーズ」、M.S. グッド、B.E. ワトソン、M.A. ヒューズ、K.C. ロバーツ、A.P. コックマン、M. ナサロ、T.H. クリーバー、R.クリーバー、USCAR プロジェクト JNG 601 最終報告書、2011 年 5 月

NMMA(National Marine Manufacturers Association)2009 年レクリエーションボート統計要約

「40.8%減のオートバイ売上高は MIC と言う」、バート・マドソン、モーターサイクル USA.com、2010 年 1 月 21 日

「北米の商用トラックおよびトレーラーの展望、設備、貨物、トラック輸送、経済学」、FTR Associates、2008 年 9 月

## 15.0 添付資料

### 15.1 チームメンバー

エイドリアン・コックマン	フォードモーターカンパニー
リチャード・タルボット	フォードモーターカンパニー
ウィリアム・シャロン	フォードモーターカンパニー
Gary Sifferman	Acument Global Technologies
ジョー・ゴバーナッツ	ATF
ジョン・レイノルズ	REMINC
ライアン・クリーバー	Tech Knowledge
トッド・クリーバー	Tech Knowledge

## 15.2 TAPTITE®用アルミニウムの穴の寸法およびサイズと形状

2011年6月14日

ナットプレートのダイは、点線のボックスで示されているように、ボス表面に刻印されています。文字は、軸力テストに必要な20 mm四方に機械加工した後、ナットとともに残るように配置されています。

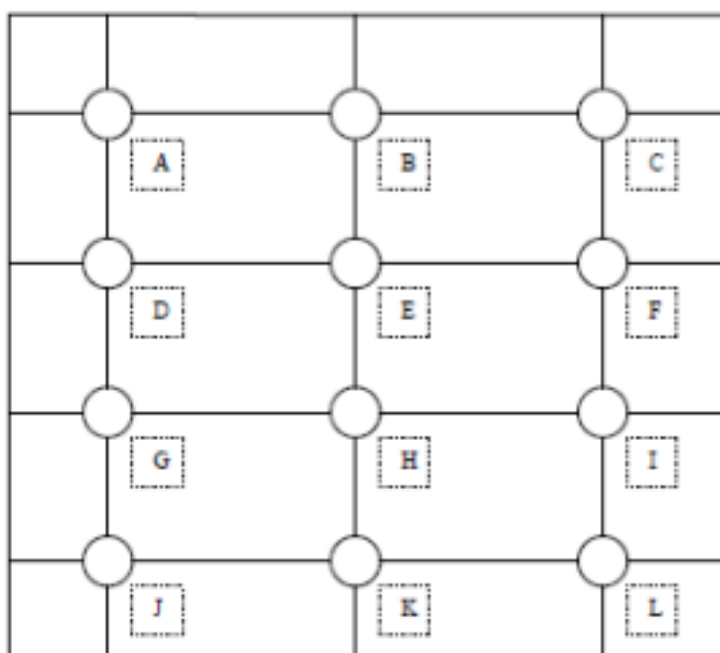
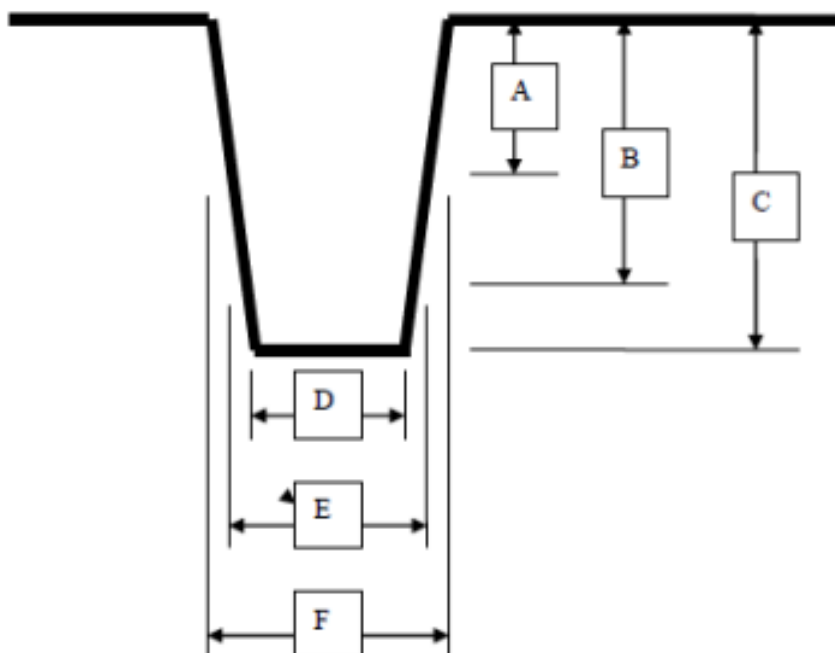


図 15.1 アルミニウムの鋳造ナットのボス指定

TAPTITE® 用アルミニウムの穴の寸法およびサイズと形状

2011年6月14日



寸法 D は深さ C での直径です。  
 寸法 E は深さ B での直径です。  
 寸法 F は深さ A での直径です。

Pin ID	Pin Description	Hole Dimension in mm						Draft Angle
		A	B	C	D	E	F	
A	2.5 Dia. Depth, .5 Degree, nominal		15	19		5.44		.5 Deg
B	2.5 Dia. Depth, .5 Degree, nom. + .05		15	19		5.49		.5 Deg
C	2.5 Dia. Depth, .5 Degree, nom. + .10		15	19		5.54		.5 Deg
D	2.5 Dia. Depth, .5 Degree, nom. - .05		15	19		5.39		.5 Deg
E	2.5 Dia. Depth, .5 Degree, nom. - .10		15	19		5.34		.5 Deg
F	2.5 Dia. Depth, .5 Degree, nom. - .15		15	19		5.29		.5 Deg
G	2.5 Dia. Depth, 1.0 Degree, nominal		15	19		5.44		1.0 Deg
H	2.5 Dia. Depth, 1.0 Degree, nom. + .05		15	19		5.49		1.0 Deg
I	2.5 Dia. Depth, 1.0 Degree, nom. - .05		15	19		5.39		1.0 Deg
J	2.5 Dia. Depth, 1.0 Degree, nom. - .10		15	19		5.34		1.0 Deg
K	2.5 Dia. Depth, 1.0 Degree, nom. - .15		15	19		5.29		1.0 Deg
L	2.5 Dia. Depth, .5 Degree, nominal		15	19		5.44		.5 Deg

表 15.1 アルミニウムの鋳造ナットの穴の寸法と抜き勾配

### 15.3 ALtracs®用マグネシウムの穴の寸法およびサイズと形状

2011年6月14日

ナットプレートのダイは、点線のボックスで示されているように、ボス表面に刻印されています。文字は、軸力テストに必要な20 mm四方に機械加工した後、ナットとともに残るように配置されています。

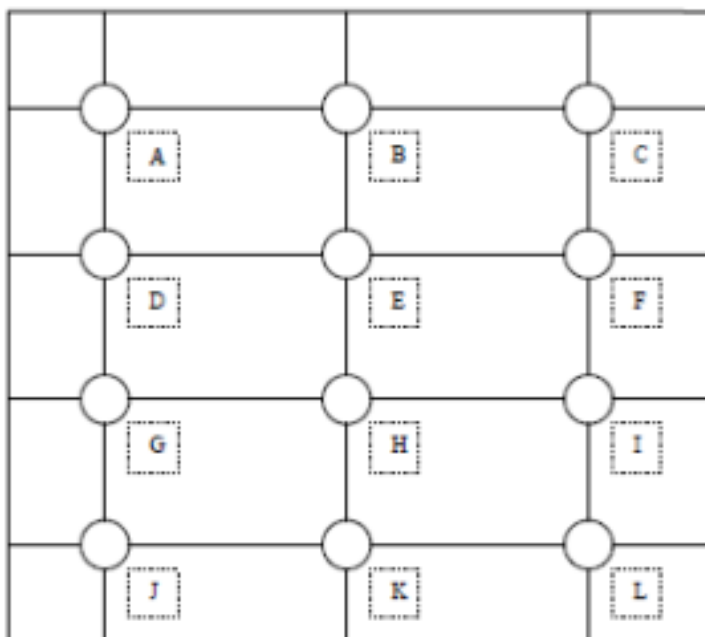
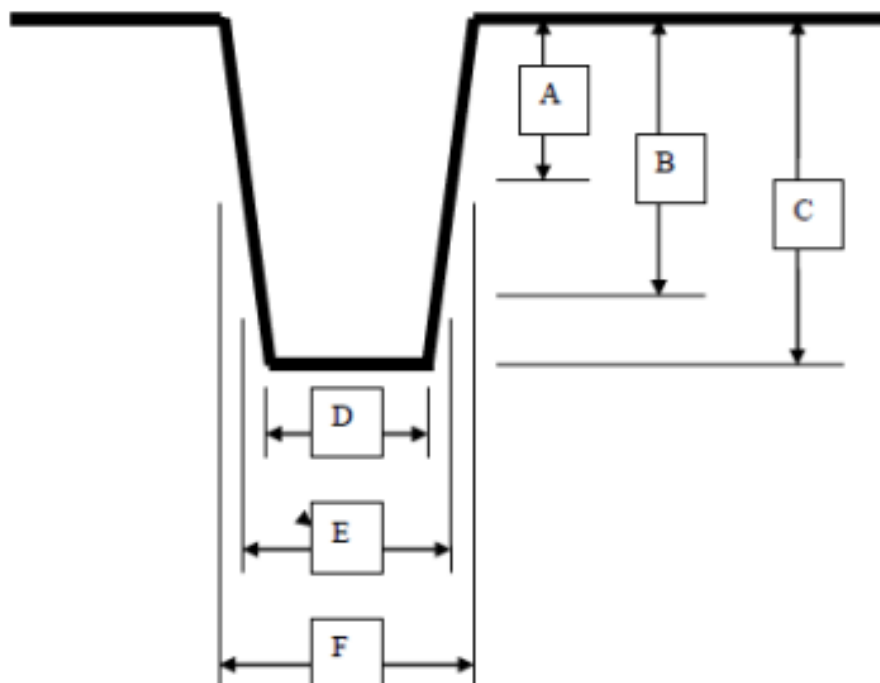


図 15.2 マグネシウムの鋳造ナットのボス指定



ALtracs®用マグネシウムの穴の寸法およびサイズと形状

2011年6月14日



寸法 D は深さ C での直径です。  
 寸法 E は深さ B での直径です。  
 寸法 F は深さ A での直径です。

Pin ID	Pin Description	Hole Dimension in mm						Draft
		A	B	C	D	E	F	Angle
A	3 Dia. Depth, .5 Degree, nominal	9		22			5.65	.5 Deg
B	3 Dia. Depth, .5 Degree, nom. + .05	9		22			5.70	.5 Deg
C	3 Dia. Depth, .5 Degree, nom. + .10	9		22			5.75	.5 Deg
D	3 Dia. Depth, .5 Degree, nom. - .05	9		22			5.60	.5 Deg
E	3 Dia. Depth, .5 Degree, nom. - .10	9		22			5.55	.5 Deg
F	3 Dia. Depth, .5 Degree, nom. - .15	9		22			5.50	.5 Deg
G	3 Dia. Depth, 1.0 Degree, nominal	9		22			5.65	1.0 Deg
H	3 Dia. Depth, 1.0 Degree, nom. + .05	9		22			5.70	1.0 Deg
I	3 Dia. Depth, 1.0 Degree, nom. - .05	9		22			5.60	1.0 Deg
J	3 Dia. Depth, 1.0 Degree, nom. - .10	9		22			5.55	1.0 Deg
K	3 Dia. Depth, 1.0 Degree, nom. - .15	9		22			5.50	1.0 Deg
L	3 Dia. Depth, .5 Degree, nominal	9		22			5.65	.5 Deg

表 15.2 マグネシウムの鋳造ナットの穴の寸法と抜き勾配

## 15.4 断面金属組織サンプル

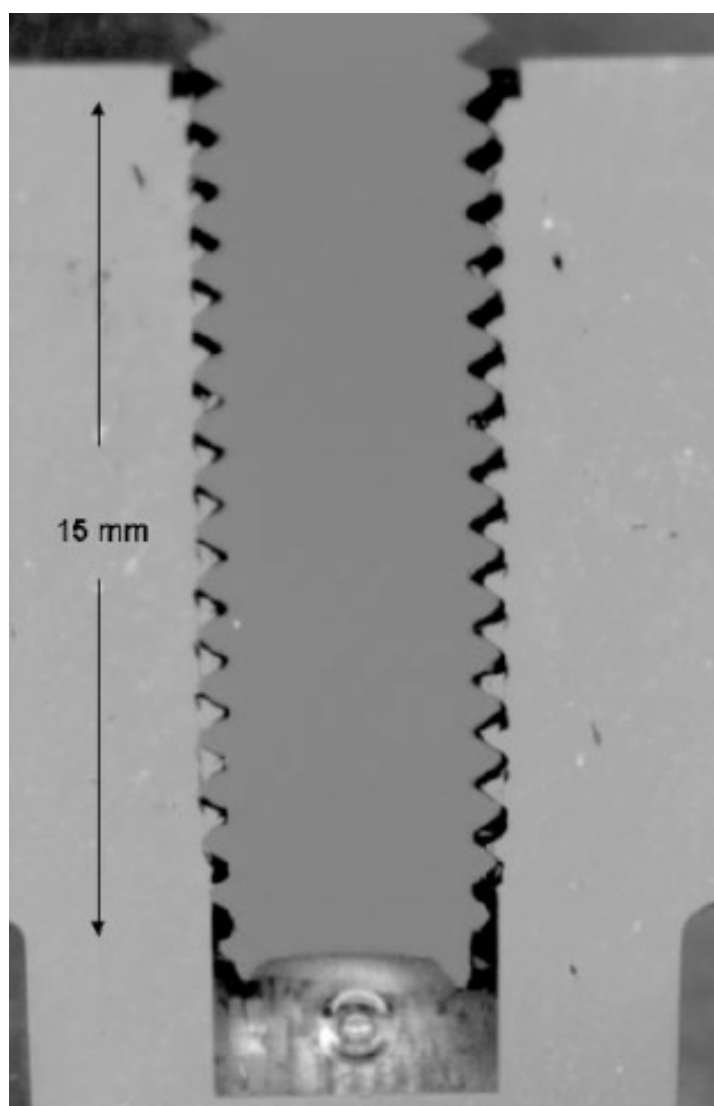


図 15.3 A380 アルミニウムの鑄造角  $0.5^\circ$  のドラフト角度で、15 mm の深さの M6TAPTITE® スレッドフォーミングファスナーの断面金属組織サンプル

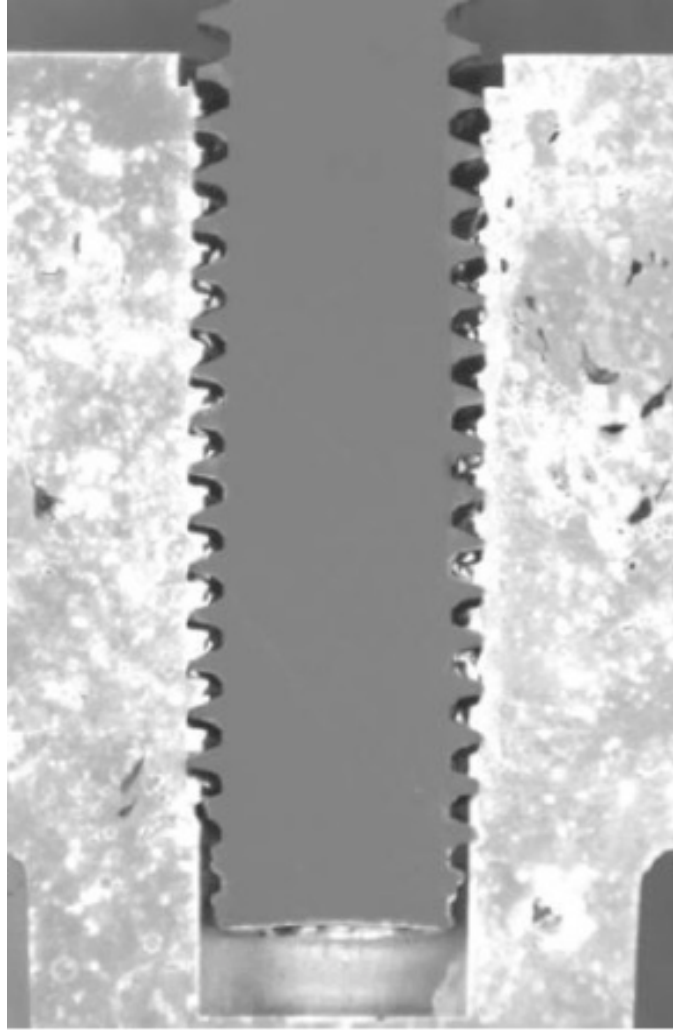


図 15.4 AZ91D マグネシウムの 0.5°ドラフト角度の鋳抜き穴で深さ 18 mm の M6 ALtracs スレッドフォーミングファスナーの断面金属組織サンプル