

中小企業基盤技術継承支援事業

技術・技能の継承・共有化ツールの開発

鍛造テンプレート

産業技術総合研究所 デジタルものづくり研究センター
梶野 智史

発表の流れ

1. 研究開発の目的・対象
2. Ⅲ. 研究開発成果
 - ・ 加工圧力計算テンプレート
 - ・ 温度計算テンプレート
 - ・ 金型設計テンプレート
 - ・ テンプレートの使用例(群馬精工, 宮本工業)
 - ・ まとめ
3. IV. 実用化

発表の流れ

1. 研究開発の目的・対象

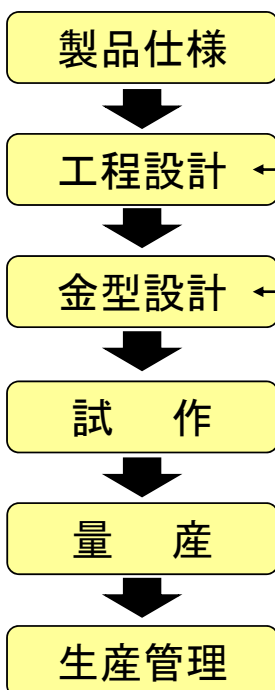
2. III. 研究開発成果

- ・ 加工圧力計算テンプレート
- ・ 温度計算テンプレート
- ・ 金型設計テンプレート
- ・ テンプレートの使用例(群馬精工, 宮本工業)
- ・ まとめ

3. IV. 実用化

鍛造テンプレート開発のコンセプト

鍛造加工の流れ

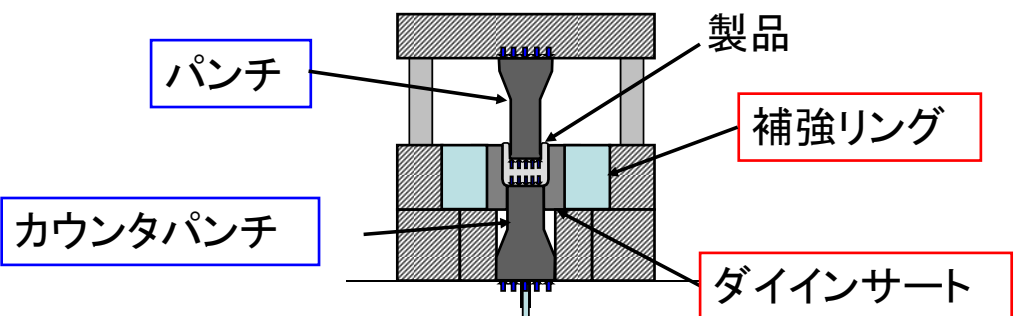


加工力を見積もり, プレス機の選定や工法・工程を検討する.

- 鍛造の基本であり, 最も重要な仕事
- 経験によるところが大きい

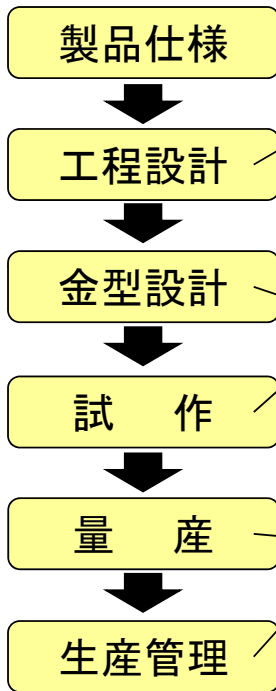
鍛造金型は, 2~4のGPa高圧力, 1200°Cの高温などの過酷な条件下にさらされるため, 制限された寸法で注意深く設計する必要がある.

- 設計の可否の理屈を理解するのが難しい



鍛造テンプレート開発のコンセプト

鍛造加工の流れ



ベテランの有する技能

□ テンプレート化 (手法)

加工圧力の見積もり (理論式+補正項)

鍛造温度の選択(冷間, 温間, 熱間)
鍛造プレスの選定
工程設計

金型に働く応力の見積もり (特化したシミュレーション)

金型材質の選択や形状の決定
素材の熱処理状態や形状の決定

加工中の鍛造品の温度の見積もり (モデル化+理論式)

精度・品質の向上
金型寿命の延長
トラブルシューティング

鍛造加工の一連の流れを完結できる

作成した鍛造テンプレートリスト

種類	概要	適用範囲、使用上の注意
1. 容器の押し出し圧力計算 2. 軸の前方押し出し圧力計算	<ul style="list-style-type: none"> ・定常変形をする軸対称押し出し圧力を計算 ・圧力は拘束係数と変形抵抗との積と仮定 ・背圧を付加した押し出しに対応 ・加工硬化材に対応 ・直角パンチ及びダイを想定 	<ul style="list-style-type: none"> ・スプライン、歯形押し出しなどに応用可能 ・独自の拘束係数、変形抵抗入力可能 ・適用断面減少率25~90% ・鋼材と加工硬化特性が異なる素材への適用不可
3. 据込み圧力計算	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼材及びアルミニウムの変形抵抗を利用 	<ul style="list-style-type: none"> ・鋼材と加工硬化特性の異なる材料への適用不可
4. 組合せ押し出し圧力計算	<ul style="list-style-type: none"> ・容器および軸が同時に生じるはずの寸法を算出 	<ul style="list-style-type: none"> ・底厚が薄い非定常変形に適用不可
5. 多段押し出し圧力計算	<ul style="list-style-type: none"> ・クーロンの摩擦係数を入力して2段押し出し圧力を算出 	

作成した鍛造テンプレートリスト

種類	概要	適用範囲、使用上の注意
6. 容器の押出し中の温度計算 7. 軸の前方押出し中の温度計算	<ul style="list-style-type: none"> 加工熱でビレットの温度を上昇させた後、直ちに熱伝導により冷却が始まると仮定 冷却モデルに球の熱伝導解析解を採用 加工速度及び寸法効果に対応 	<ul style="list-style-type: none"> 鍛造品と型との間の熱伝達率を入力する必要がある 熱物性値が判明した材料のデータを応用
8. パンチの応力解析 9. カウンタパンチの応力解析	<ul style="list-style-type: none"> 有限要素法(FEM)を用いた軸対称パンチ及びカウンタパンチに作用する応力解析 カウンタパンチの受圧板にノックアウト用パンチの穴あり 	<ul style="list-style-type: none"> パンチの坐屈は考慮していない パンチの破損については別途チェックする必要がある
10. ダイの応力解析	<ul style="list-style-type: none"> 有限要素法(FEM)を用いた締めりはめ軸対称ダイに作用する応力解析 シュリンクリング2個、および締める順序に対応 	<ul style="list-style-type: none"> ダイの降伏については別途チェックする必要がある

発表の流れ

1. 研究開発の目的・対象

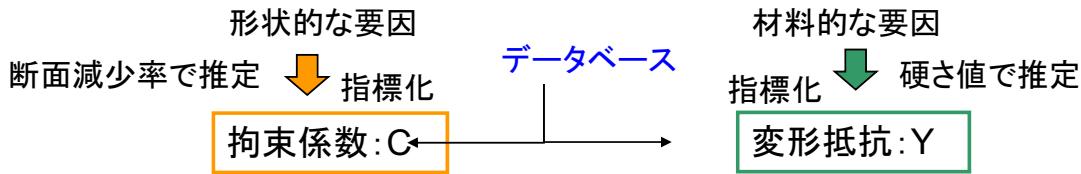
2. Ⅲ. 研究開発成果

- 加工圧力計算テンプレート
- 温度計算テンプレート
- 金型設計テンプレート
- テンプレートの使用例(群馬精工, 宮本工業)
- まとめ

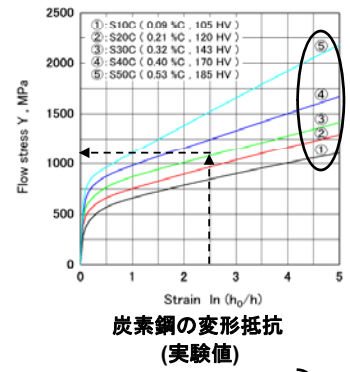
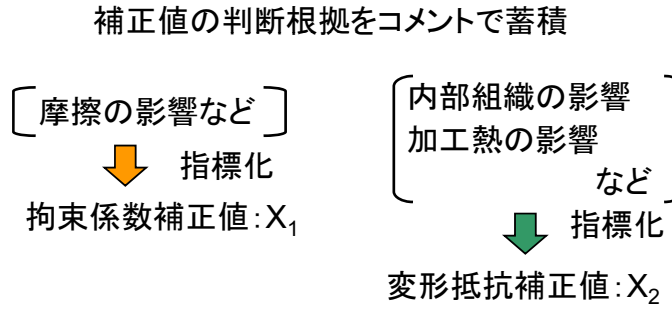
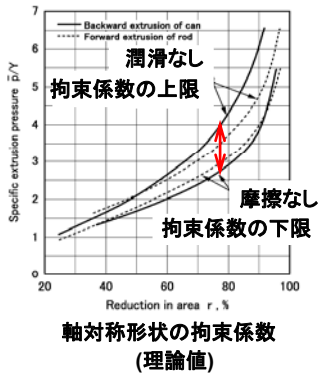
3. IV. 実用化

加工圧力計算テンプレートの概要

データベースなどを参照として形状的要因と材料的要因を数値で表す



加工条件による形状的要因と材料的要因の変化は補正値で対応する

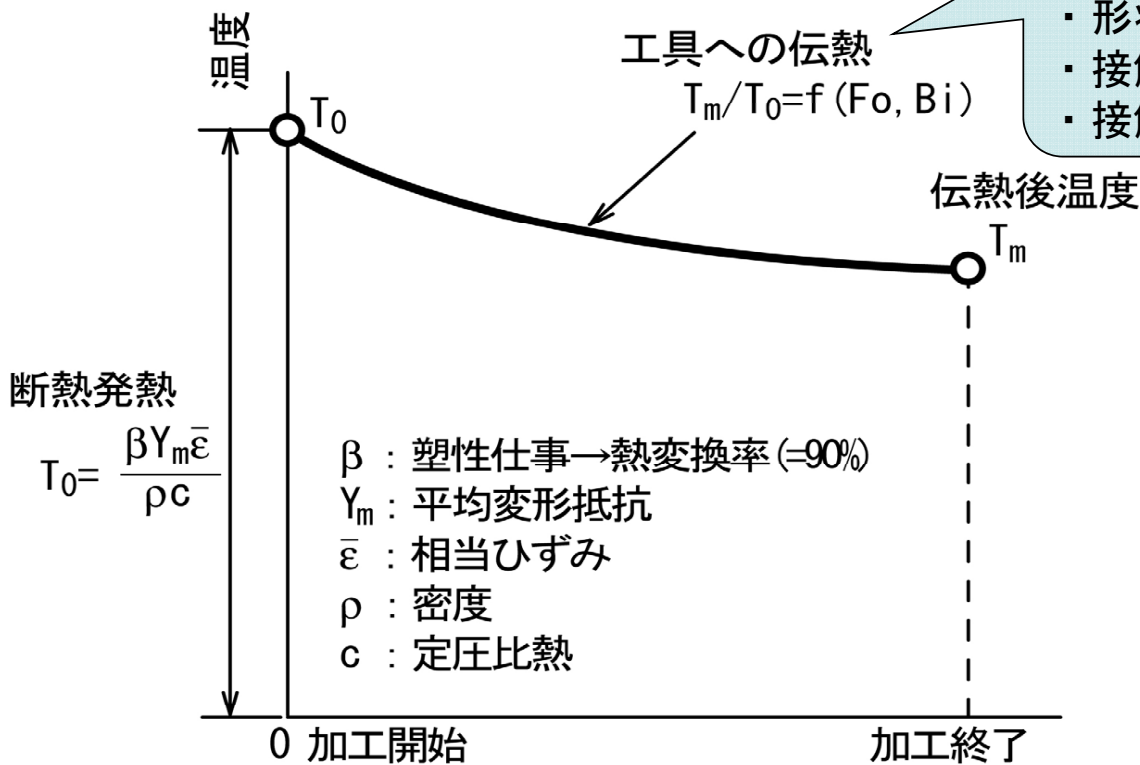


$$\text{加工圧力} : P = X_1 C * X_2 Y$$

塑性理論に基づいた計算式を利用する

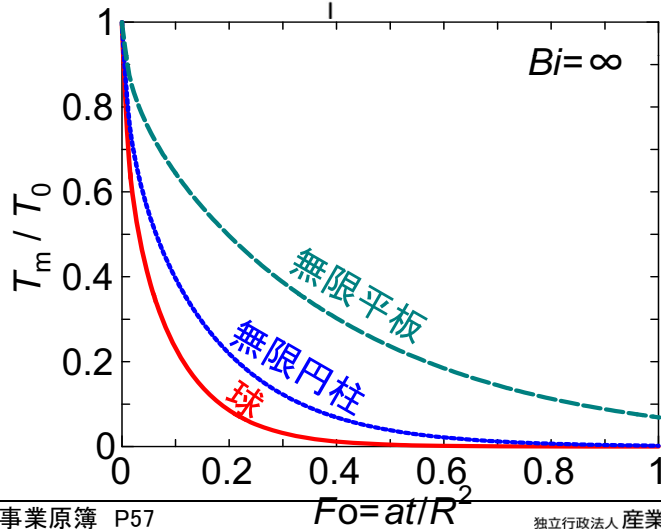
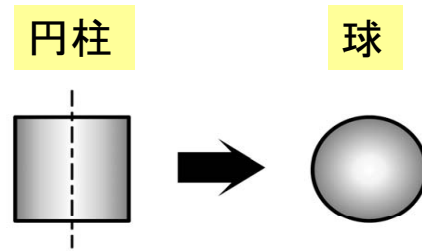
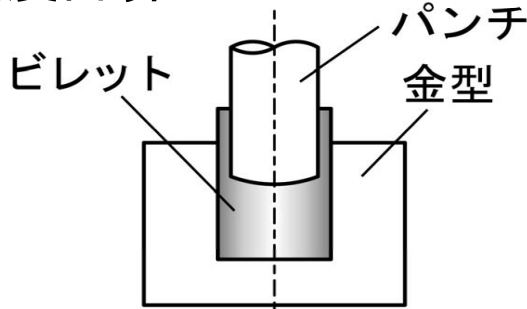
温度計算テンプレートの概要

- ・ 熱伝導性
- ・ 形状・寸法
- ・ 接触時間
- ・ 接触状況



- β : 塑性仕事→熱変換率 (=90%)
- Y_m : 平均変形抵抗
- $\bar{\epsilon}$: 相当ひずみ
- ρ : 密度
- c : 定圧比熱

温度計算テンプレートの概要

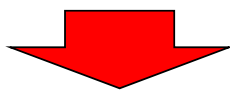
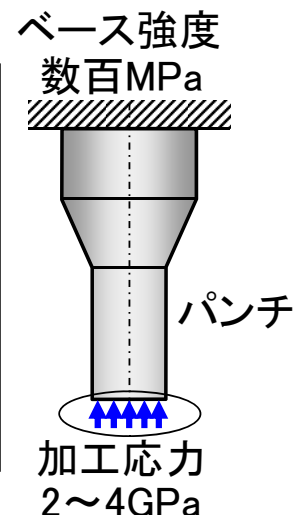


伝熱計算における仮定

- ビレットは球形
- 工具温度は変化しない
- 形状は変化しない

パンチ設計上の仕様

- ・冷間鍛造用パンチの先端(材料加工部)では、高応力が作用.
- ・ベース強度は高くないため、パンチ後端(ベース接触部)の応力低減が不可欠.
- ・機械、ダイセットの仕様による、パンチ寸法の制限.



許容寸法範囲内で上記の条件を満たす形状を設計することが必要

金型のコーナー部, R部などには応力集中が起こり, 平均加工応力以上の応力が作用する

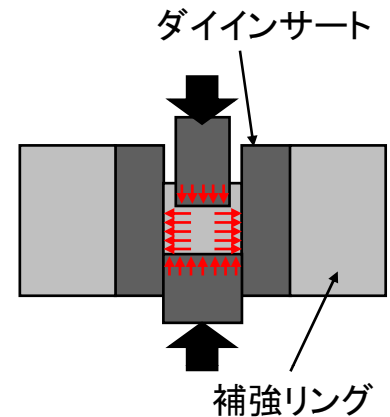
ダイ設計上の仕様

- ・ 加工中，材料は大圧力を受け，ダイインサートには高い応力が発生する。
- ・ 工具鋼は引張応力に弱い。



補強リングに圧入して，圧縮応力を予め発生させておき，ダイの破損を防止している。

ダイ設計のキーポイント



適切なしめ圧を発生させる寸法設計は経験と勘に依存

ダイインサート，補強リングの寸法がしめ圧および内部応力に与える影響を見える化

発表の流れ

1. 研究開発の目的・対象

2. Ⅲ. 研究開発成果

- ・ 加工圧力計算テンプレート
- ・ 温度計算テンプレート
- ・ 金型設計テンプレート
- ・ テンプレートの使用例(群馬精工，宮本工業)
- ・ まとめ

3. Ⅳ. 実用化

鍛造テンプレート使用事例

群馬精工株式会社

本社住所: 〒371-0811 群馬県前橋市朝倉町3-31-8

従業員数: 97名

事業内容: 高精度冷間鍛造技術による輸送機器部品など

事例1 圧力計算: 容器の後方押し出し

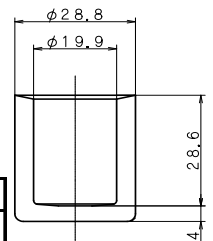
目的: パンチ圧力を求めてパンチ命数の向上

属性

項目	値
製品名	キーロックカラー
材料名	S35C
熱処理	焼鈍

入力・計算値

項目	値	単位
外径	28.8	mm
内径	19.9	mm
断面減少率	47.74	%
摩擦パラメータ	0.10	
拘束係数	1.68	
硬さ	145	HV
変形抵抗	1008.46	
平均変形抵抗	822.07	
押し出し圧力	1380.10	MPa
押し出し荷重	899.05	kN
パンチ圧力	2890.61	MPa



製品図

実際の結果

押し出し荷重: 840 kN

パンチ圧力: 2701 MPa

計算値に対して実際の荷重では約7%低い値となった。

パンチ材質SKH51 (HRC61) では約10,000ショットでパンチに塑性変形(軸部に膨らみ)が見られた。

成形圧力から0.2%圧縮耐力を保證する硬さ(HRC63以上)を求め、材質をHAP40(HRC64~66)に変更した。

現在、約70,000ショット継続使用中である。

事例2 圧力計算: 容器の後方押出し

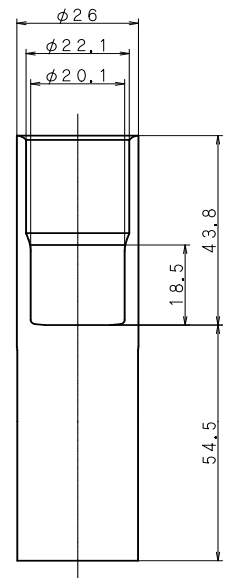
目的: パンチ圧力を求めてパンチ命数の向上

属性

項目	値
製品名	ナットパイプ
材料名	S10C
熱処理	焼鈍

入力・計算値

項目	値	単位
外径	26.0	mm
内径	22.1	mm
断面減少率	72.25	%
摩擦パラメータ	0.10	
拘束係数	2.57	
硬さ	112	HV
変形抵抗	886.74	
平均変形抵抗	703.27	
押し出し圧力	1806.29	MPa
押し出し荷重	959.01	kN
パンチ圧力	2500.05	MPa



製品図

実際の結果

押し出し荷重: 900 kN
パンチ圧力: 2346 MPa

事例1と同様、計算値に対して実際の荷重では約7%低い値となった。
(パンチ外形φ22.1、φ20.1ともに逃げをつけている。)

実際の製品の内径はφ20.1とφ22.1の2段となっているが、計算ではφ22.1の段差無しと仮定して行った。

内径のφ20.1部に逃げをつけていないパンチでは、押し出し荷重: 900 kN、パンチ圧力: 3128 MPaとなり、約10000ショットで段付き部から破損していた。

事例3 圧力計算: 円柱の据込み

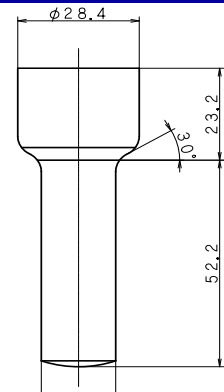
目的: 工程設計(成形荷重から使用プレスを決める)

属性

項目	値
製品名	シャフト
材料名	S20C
熱処理	焼鈍

入力・計算値

項目	値	単位
加工前高さ	22.1	mm
加工後高さ	5.0	mm
加工前外径	28.4	mm
加工前外径	59.71	mm
ひずみ	1.49	
摩擦係数	0.1	
硬さ	128	HV
変形抵抗	862.98	
据込み圧力	1206.50	MPa
据込み荷重	3378.12	kN



素材図

実際の結果

実際の製品の中心には軸がついているが、軸長さは前工程で成形完了しており、また本工程では軸せん断部を拘束しているため、計算では円柱材の据込みと仮定して行った。

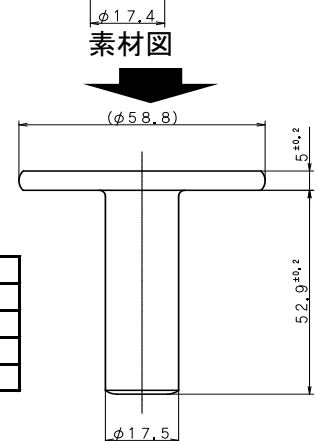
素材硬さをHV100として再計算

項目	値	単位
硬さ	100	HV
変形抵抗	674.21	
据込み圧力	942.58	MPa
据込み荷重	2639.16	kN

使用機械を400t機械プレスとした。

据込み荷重: 2400 kN

計算値に対して実際の荷重では約10%低い値となった。



製品図

鍛造テンプレート実地使用 報告

2009年2月17日

宮本工業株式会社

適用事例 1. カップ 荷重計算

硬度 [HV]	23	HV
変形抵抗の補正係数 [Yal]	1.3	
変形抵抗の補正項 [Yb]	0.0	
変形抵抗補正の根拠	自由記述	内容表示
拘束係数と変形抵抗	グラフ表示	設定編集
変形抵抗 [N]	248.67	式編集
平均変形抵抗 [N]	194.64	式編集
圧力計算		
押し出し圧力 [Pa]	572.12	MPa 式表示
押し出し荷重 [N]	678.2	kN 式表示
パンチ圧力 [Pa]	746.98	MPa 式表示
登録		式値▼

目的: 実測データとの比較

計算条件:

材質: A1070

硬度: 23 (Hv)

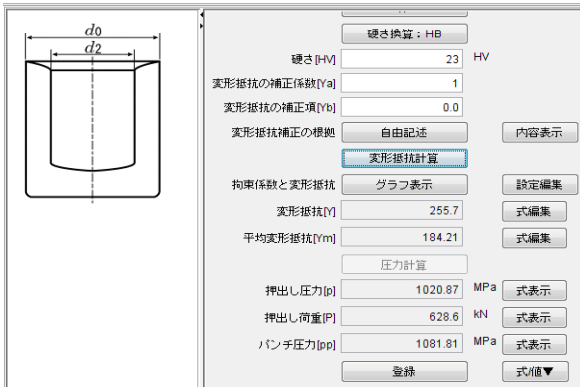
実際の成形荷重: 660~700kN

テンプレート結果: 押し出し荷重 521.69kN

変形抵抗の補正係数 1.3の荷重 678.2kN

- ・変形抵抗に補正係数をかけることにより実測値に近い数値を得られた。

適用事例 2. カップ 荷重計算



目的: 見積もり
(600kNプレスで成形可否)

計算条件:

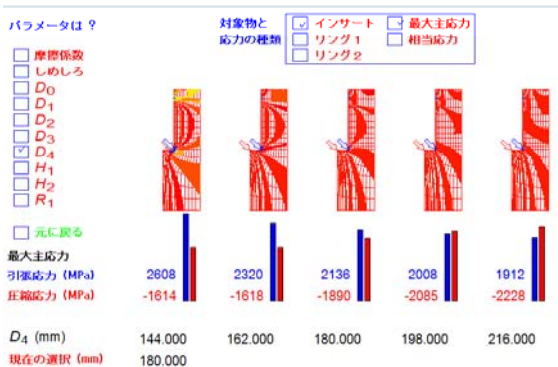
材質: A1070

硬度: 23 (Hv)

テンプレート結果: 押し出し荷重 628.6kN
(変形抵抗の補正係数 なし)

・テンプレートの結果より、成形機の能力が不足していることが理解できた。

適用事例 3. ロッド金型(ダイ)応力解析



目的: 金型(ダイ)の破損対策

内容:

2重締めダイの応力計算

テンプレート結果:

補強リングの外径、及び、分割径を変化させ、その組み合わせを変えることで、引張り応力の低減を図ることができた。

発表の流れ

1. 研究開発の目的・対象

2. III. 研究開発成果

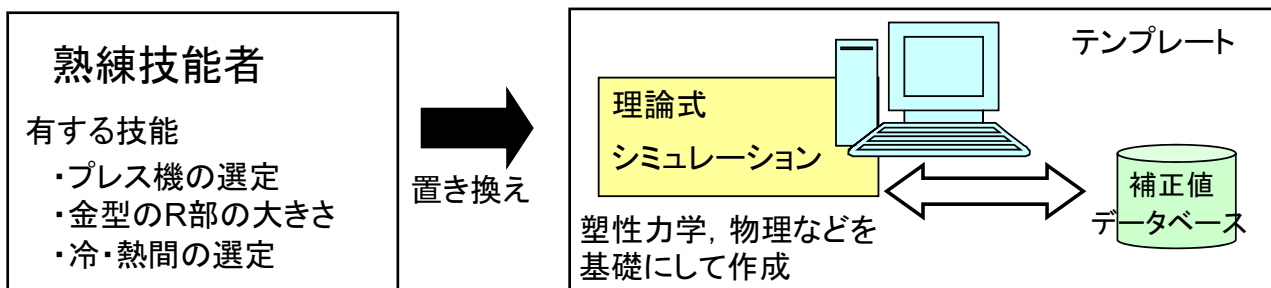
- ・ 加工圧力計算テンプレート
- ・ 温度計算テンプレート
- ・ 金型設計テンプレート
- ・ テンプレートの使用例(群馬精工, 宮本工業)
- ・ まとめ

3. IV. 実用化

まとめ

鍛造加工で検討した技能伝承の手法

理論式やシミュレーションの使用法を特化することで、技能伝承に応用する。



若手技能者がテンプレートを使用して、プレス機の選定ができた、金型の長寿命化が図れた例があり、技能伝承に役立っていると言え、本手法が有用であることを示せた。

テンプレートの使用継続によって、下記に示す技能の高度化も可能である。

技能の高度化

- ・ 難加工材料への対応
- ・ 新規部品の開発
- ・ 技能の共有化
- ・ 精度の向上
- ・ ネットシェイプ
- ・ 金型の長寿命化

発表の流れ

1. 研究開発の目的・対象

2. Ⅲ. 研究開発成果

- ・ 加工圧力計算テンプレート
- ・ 温度計算テンプレート
- ・ 金型設計テンプレート
- ・ テンプレートの使用例(群馬精工, 宮本工業)
- ・ まとめ

3. Ⅳ. 実用化

テンプレート説明会

下記の3社にてテンプレート説明会を開催した。

開催日	企業名	業種	参加人数	主なコメント
2008年 7月15日	(株)ニチダイ	金型製作 メーカー	14	大型ソフトを使用していると内容を考えないが、小さいテンプレートは設計思想がわかる。
2008年 7月16日	(株)阪村機械 製作所	フォーマー(横型 多段鍛造機械)製 作メーカー	15	自社で使用している大型ソフトよりもテンプレートの方が計算速度が速い。
2008年 7月28日	愛知製鋼(株)	主に自動車部品の 鍛造メーカー	20	設計の良し悪しを手軽にチェックできて、使い易そう。

普及体制

産総研「中小企業技術・技能継承プログラム」の開催 鍛造コースカリキュラム(案)

鍛造 コース	加工圧力計算TPの基礎と導入	<ul style="list-style-type: none"> ・基本用語の説明(拘束係数、変形抵抗など) ・加工圧力の計算原理の解説(塑性力学に基づく理論) ・テンプレートの導入・使用方法
	工具の応力解析TPの基礎と導入	<ul style="list-style-type: none"> ・工具内部に発生する応力と寸法との関係の理解 ・工具面取りと接触応力との関係の解説 ・シュリンクリングによる締め付け力の理解 ・テンプレートの導入・使用方法
	組み合わせ鍛造TP 温度解析TPの基礎と導入	<ul style="list-style-type: none"> ・複雑形状鍛造の設計概念の解説(容器+軸、多段軸) ・鍛造品の温度上昇と寸法効果の理解 ・難加工材鍛造の考え方 ・テンプレートの導入・使用方法

テキストブック、テンプレート使用マニュアルを配布