

論文・解説

14

設備特性を考慮した絞り金型構造設計プロセスの構築 Establishing of the Die Design Process to Optimize the Characteristic of the Production Facilities (Drawing Die)

大 中 雅 博*¹ 三 笹 護*²
Masahiro Ohnaka Mamoru Misasa

要 約

プレス量産の安定化の取り組みにおいて、絞り型のシワ押さえ機構に荷重を伝達する各クッションピンの当たり面が部分的に凹凸になっている現象に着目し、各クッションピンの荷重分布が不均一になる現象をCAE構造解析手法により解析した。この原因の一端が、各プレス機械構造とクッションピンの配置によるものであることが判明した。プレスの生産安定性の向上のため、これを検証するCAE構造解析ツールの開発と金型構造設計へのインライン化したプロセスについて報告する。

Summary

In a activity to pursue the efficient production, the uneven force on each cushion pins is analyzed by the structural CAE method with the view of pointing the dents on them which transfer the force to the blank holder for binding in the drawing die. The layout of the cushion pins and the characteristic of the facilities are discovered as one of the causes. This report introduces the development of the structural analysis tool to evaluate and the die design process which has analyzing the structure in the process to improve production efficiency.

1. はじめに

近年、世界景気、為替の激しい変動により、海外での現地生産化が進み、多拠点生産化している。このような環境の中で、短期間での海外現地量産化、安定生産による品質維持は経営の中で更に重要性を増している。

こうした中、プレス領域では成形シミュレーションというCAE解析手法を進化させ、金型製作から量産までの金型育成期間短縮に大きく寄与してきた。

また、金型構造設計領域では、設計形態の3次元化により、構造部品同士の干渉確認等の幾何学的検証を進化させ、効果を生み出してきた。例えば、プレス工程間パネル搬送の要具と金型との干渉、金型製作加工具と金型との干渉等、これらを設計段階で3次元検証することにより、金型製作、金型製作後のトライアルにて発生していた問題事象を劇的に減少させてきた。

また、金型製作工程においても、自動切削プログラムの

作成が可能となり、金型自動切削も果たし、製作費の削減、製作時間の短縮に寄与してきた。

このように、設計段階での幾何学的な検証や取り組みによって、量産開始までの問題事象に対しては劇的な効果を生み出してきたが、一方で、プレス量産における生産トラブルでのライン停止、量産でのパネル品質劣化、金型破損、設備劣化の頻度等の減少速度は緩やかなままであり、機能面での品質保証問題へ取り組みをシフトせねばならない。

そこで本報では、安定生産の実現に向けて、CAE構造解析を用いた絞り型の生産機能問題の事前検証をインライン化し、設備特性を考慮した絞り型の金型構造設計を可能にしたプロセスについて報告する。

*1, 2 車体技術部
Body Production Engineering Dept.

2. 絞り型の問題事象

2.1 絞り型の量産での現状

プレス領域では、安定した生産の維持のために、定期的な設備、金型の保全、及び部品の品質検査を行い、変化の予兆があれば、設備や金型の必要な補修を実施し、品質を維持している。品質維持活動の中で、最も重要度が高いものが、絞り成形工程の保全である。絞り成形は、車の品質に大きく影響するワレ、シワの不具合が発生する工程であり、かつ、保全の難易度の高い領域が存在する工程である。絞り成形の難成形領域は、鋼板材料の伸び縮みの微妙なバランスにより成立しており、品質の維持のため保全頻度が多く、また、調整にも工数をかけているのが現状である。

これまで、量産工場で発生するこれらの問題事象を、現場の経験的な対処法により回避していた。また、その発生メカニズムが明確でなく、設計時の事前検証による金型構造の恒久的な対策方法が確立できていなかった。そこで、絞り型の各構造が要求される機能を果たしているのか、現物と構造解析により検証しメカニズムを明確にする。それにより構造解析をインライン化し、金型構造設計に織り込むことができるプロセスに変えることにより、問題事象の事前検証方法を確立し生産安定性の向上につなげる取り組みを実施している。

2.2 絞り型構造とプレス設備構造の構成

絞り型の取り組み内容を説明するにあたり、一般的な絞り型構造、プレス設備構造及び絞り成形の構成について説明する。シワ押さえ機構のブランクホルダ上に鋼板材料を配置し (Fig.1-a)、ブランクホルダと上型により、鋼板材料をプレス設備のクッションパッドの荷重により固定、拘束する (Fig.1-b)。次に、鋼板材料を上型とブランクホルダで固定したまま上型が下降し、鋼板材料を下型の形状に塑性成形する (Fig.1-c)。その際、シワ押さえの荷重とブランクホルダ上面のビード形状 (凹凸形状) により、鋼板材料の拘束力を調整し、鋼板材料の伸び縮みをコントロールすることで、ワレ、シワがないようにプレス板金部品の品質を調整する。

シワ押さえ機構を担うブランクホルダには、成形条件に応じた必要なシワ押さえ力をプレス設備から伝達するためのクッションピン当たり面を設置する。クッションピン当たり面は、製品形状や設備構造、金型構造などから数と位置を決定している。

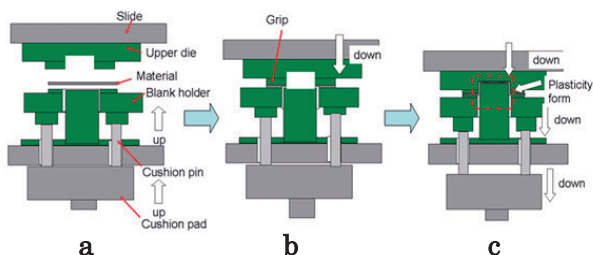


Fig.1 Description of Drawing Die Structure

2.3 絞り型の問題事象

絞り成形において、絞り成形部品の品質を調整している最も重要な構造がシワ押さえ機構である。シワ押さえ機構は鋼板材料の流入量、伸び縮みのバランスを制御し、所定の張力を鋼板材料に与える役割を持っている。そこで、シワ押さえ機構に着目し、機能検証することにした。

プレス生産の定期的な金型の検査において、プレス設備からシワ押さえ機構へ荷重を伝達しているクッションピンの当たり面へ凹凸が部分的に発生しているケースを目にする (Fig.2)。これは、各クッションピンの1本ずつが同等にブランクホルダに当たっておらず、それにより、各クッションピンの荷重分布が部分的に異なる状況になったということが考えられる。また、該当部の凸凹が生じたということは、設備を通してクッションピンによって伝達されるシワ押さえの荷重が変化していると推測される。

よって、プレス生産における絞り成形の品質に与える影響は大きいと考えられるので、この荷重の変化が生じる機構を解析して原因を特定し、対策することにした。

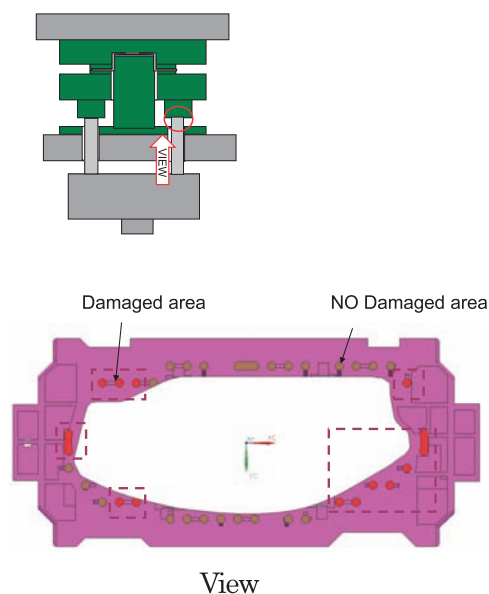


Fig.2 Damage Area of Cushion Pin Contact

3. クッションピン荷重分布の変化要因

各クッションピンの荷重分布が部分的に異なる事象を分析するにあたり、Fig.2の金型モデルにてCAE構造解析を実施した。

3.1 クッションピン荷重分布が変化する要因の仮説

各クッションピンが同等にブランクホルダに当たらない要因として、金型側とプレス設備側のクッションピンが直に接触する面の製作精度の悪さが考えられる。まず実機での製作精度を確認した。その結果、精度は基準内であり、測定値と金型凹凸の発生部位に因果関係がないことから、

成形時、金型とプレス設備にかかる荷重から発生する撓みによる精度変化に着目した。金型とプレス設備の3次元モデル (Fig.3) に生産条件と同条件の荷重をかけ、撓み量、寄与度をCAE構造解析によって、相対比較したものがFig.4である。検証の対象物は、クッションピンが直に接触する構造、プレス設備側がクッションパッド、金型側がブランクホルダである。これにより、金型側のブランクホルダよりプレス設備側のクッションパッドの撓み量が大幅に大きいことがわかった。

これらの結果により、各クッションピンの荷重分布が部分的に異なる要因は、プレス設備側の構造による寄与度が大きいと考えられる。そこで、設備側のクッションパッドのCAE構造解析により、各クッションピンにかかる荷重を計算することにした。

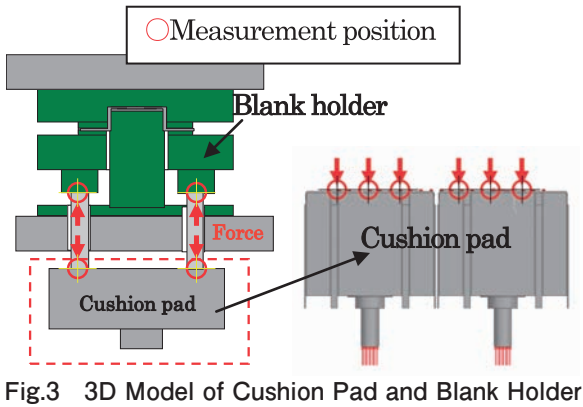


Fig.3 3D Model of Cushion Pad and Blank Holder

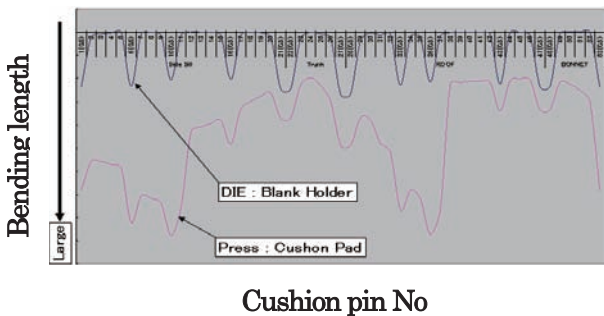


Fig.4 Comparison of Deflection between Cushion Pad and Blank Holder

3.2 プレス設備側クッションパッドの構造解析

Fig.3のプレス設備モデルに、Fig.2と同じクッションピンの配置にて、生産条件と同条件の荷重を付加した。これから、各クッションピンの荷重を、クッションパッドの撓み、クッションピンの配置バランス等から、CAE構造解析にて計算した。その計算荷重とブランクホルダのクッションピン当たり面凸凹を表記したのがFig.5である。クッションピンごとに荷重が異なり、荷重が高い部位の当たり面に凸凹が発生している傾向が見える。

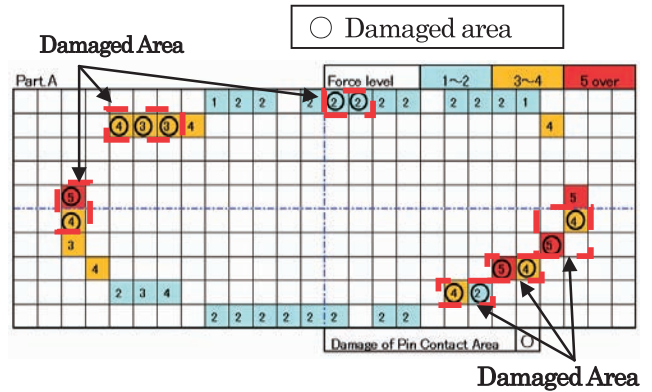


Fig.5 Analysis of Force Level

このCAE構造解析手法の確からしさを評価するため、Fig.2での金型凹凸の大きさとCAE構造解析で求めたクッションピン計算荷重との相関を検証した。この相関係数は、0.72、金型の凹凸現象と構造解析結果に相関関係があると評価でき、構造解析の荷重が増すごとに金型凹凸ダメージが大きくなる傾向がわかった。

以上により、クッションピンの荷重分布が部分的に異なる事象の要因の一つが、クッションピン配置とプレス設備のクッションパッド構造にあると考えられる。

3.3 クッションピン配置と荷重分布の相関

クッションピン配置と荷重分布の相関を検証するため、Fig.2のモデル型にて、クッションピンの配置を変更し、荷重の変化量を検証した。クッションピンの配置を変更した図がFig.6、変更前後の各荷重の変化量を比較したものがFig.7である。

このようにクッションピンの配置の変更により、各クッションピンの荷重のバラツキが縮小した。クッションピン配置の適正化は、荷重分布の均一化に有効であることがわかる。

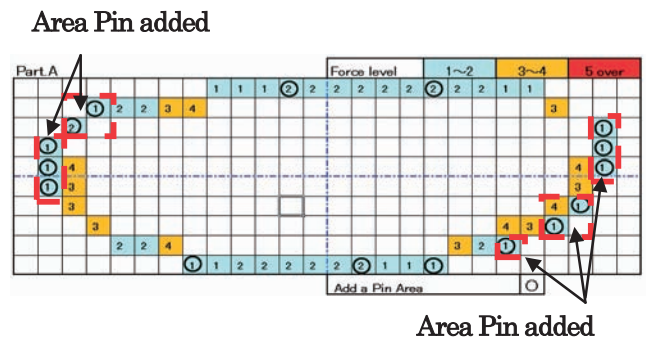


Fig.6 Pin Layout after Change

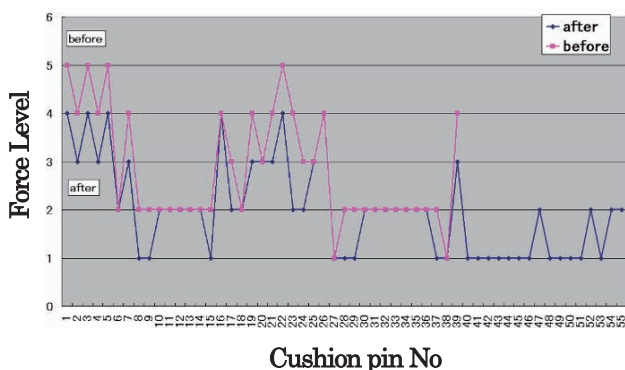
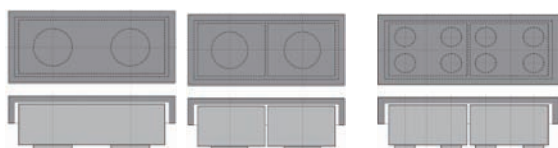


Fig.7 Comparison of Force before and after Pin Layout Change

3.4 各設備構造の種類と荷重分布の相関

各設備仕様により、クッションパッドの構造、圧力を与えている位置、数が異なる。これにより、クッションピンの荷重分布のバランスが変化する可能性があると考え、設備構造の違いによる各クッションピン荷重分布への影響度を、Fig.2をモデルに、CAE構造解析により検証した。

当社のプレス設備クッション機構には①1クッションパッド2シリンダ、②2クッションパッド2シリンダ、③2クッションパッド8シリンダなどがある (Fig.8)。同条件のクッション荷重とクッションピン配置でプレス設備仕様によって、各クッションピンの荷重分布への影響度の比較を検証した結果がFig.9である。この結果から、プレス設備仕様によりクッションピンの荷重分布が大きく変化することがわかる。



①1pad 2cylinder ②2pad 2cylinder ③2pad 8cylinder
Fig.8 Type of Cushion Pad Structure

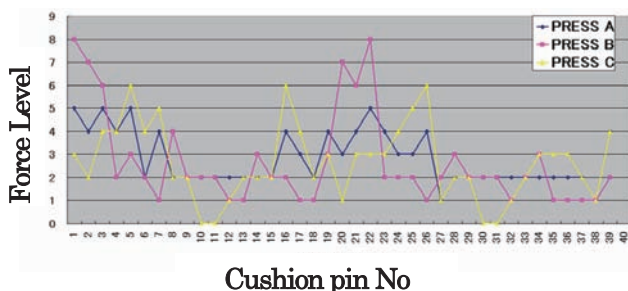


Fig.9 Comparison of Force Distribution by Type of Cushion Pad Structure

4. インライン解析型の金型設計プロセス構築

以上のことから、絞り工程の金型構造において安定した生産のために重要なことは、クッションパッド構造を考慮したクッションピン配置により、クッションピンへの荷重変化を抑制することである。そのため、金型設計におけるクッションピン荷重変化の検証においては、限られたスペース内で金型構造が成立するクッションピン位置、及び製作コストバランスを考慮した最適解を、繰り返し検証によって求める必要がある。一方、当社のプレス設備は、生産部品の特徴を考慮して仕様が多様化していることから、クッションパッド構造の相違により各生産ラインのクッションピン荷重分布が異なるため、複数ラインに適応した金型構造では、対象ラインのクッションパッドの相違も考慮する必要がある。よって、これらの検証対象の多さに対応できる構造解析の速度向上が重要と考えた。

しかし、構造解析のツールは存在しても、解析に多大な時間を要するだけでなく、解析には専門的な知識が必要なため、従来はオフラインでCAE検証するしかなかった。これにより、CAE構造解析に必要な複雑な操作、知識を必要としないクッションピン荷重分布検証ツールを開発し、誰もが活用できるものにして、構造解析を金型構造設計プロセスへインライン化した (Fig.10)。

以下に、開発した専用解析ツールについて述べる。

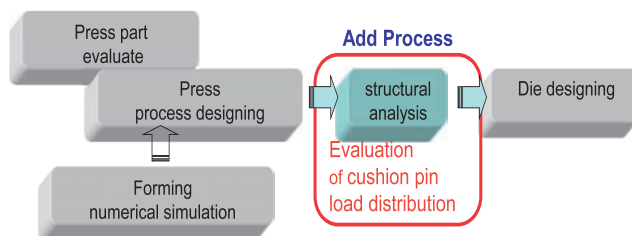


Fig.10 New Die Design Process

4.1 クッションピン荷重分布検証の短時間化

クッションピン荷重検証の短時間化のために、(1)解析オペレーションの簡素化、(2)計算時間の短縮を実施し、誰もが使用できる解析ツールを開発した。

4.1.1 解析オペレーションの簡素化

従来、Fig.11のような、構造解析に必要な、煩雑で複雑な専門的なオペレーションから、構造解析知識がなくても簡単に理解でき、少ないオペレーションによって結果が出力できるユーザインターフェイスにした。

4.1.2 計算時間の短縮

解析モデルを簡素にすることで、解析時間の短時間化は可能であるが、解析精度が変化する。そこで、解析精度の変化を実用的な10%以内を基準として、計算時間の短縮に取り組んだ。解析モデルのチューニングにより、計算時間95%短縮が可能となり、クッションピン荷重分布検証を金型構造設計プロセスへインライン化することができた。

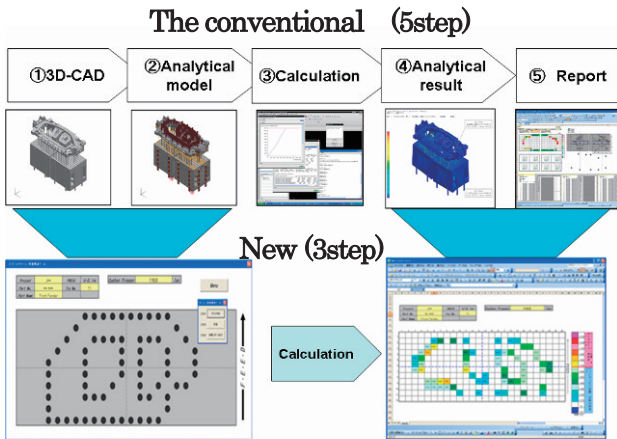


Fig.11 Analysis Process

5. 適用事例

以上の取り組みの適用事例を紹介する。適用した詳細な金型設計プロセスをFig.12に示す。クッションピン荷重検証を基に、クッションピンの配置を変更した金型構造にすることで、高荷重となる箇所が減少し均一化できた (Fig.13)。

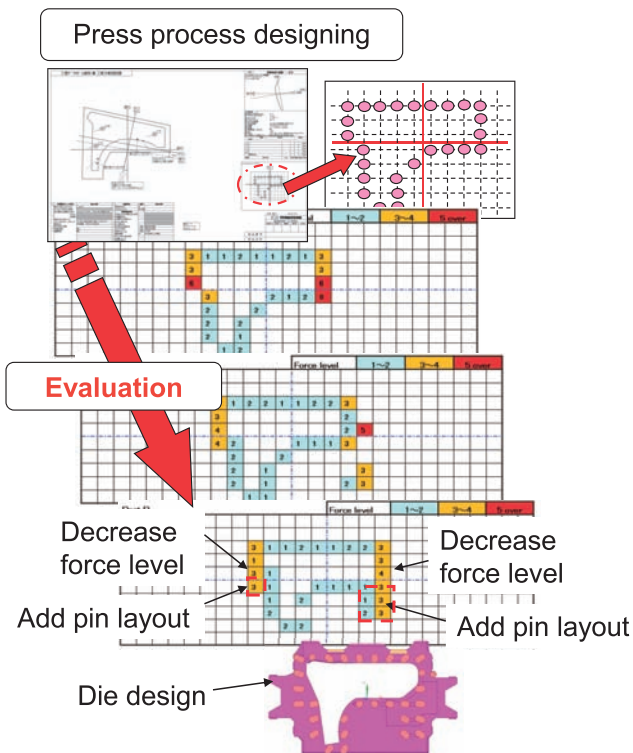


Fig.12 Example of the Case Applied in the New Design Process

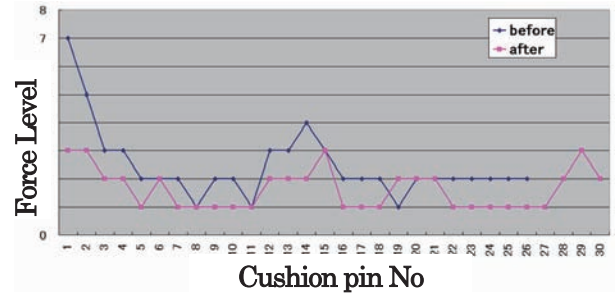


Fig.13 Force Comparison before and after Evaluation

6. おわりに

今回の取り組みにより、絞り型の安定生産を阻害する一因がわかり、クッションピン荷重検証をインライン化した金型設計プロセスが実現できた。今後は、その他の成形工程、金型機能と構造についても取り組みを展開し、安定生産へ寄与するとともに、量産準備段階での金型トライアル調整の期間短縮へもつなげていく。

■ 著 者 ■



大中雅博



三笹 護