

Study on motion and vibration control of stamping press machines

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/26826

氏名	鈴木 裕一
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	博甲第978号
学位授与の日付	平成20年3月22日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	鍛圧機械における運動と振動の制御に関する研究
論文審査委員(主査)	岩田 佳雄(自然科学研究科・教授)
論文審査委員(副査)	米山 猛(自然科学研究科・教授), 神谷 好承(自然科学研究科・教授), 浅川 直紀(自然科学研究科・准教授), 小松崎 俊彦(自然科学研究科・講師)

Abstract

In Chapter 1, a research background and a problem institution are described.

In Chapter 2, this paper describes a method of trajectory planning, parameters adjustment on servo systems and application to vibration reduction on the servo press machines. The servo systems with the linkage mechanism sometimes generate impact noise in gears or trajectory fluctuation of the input side due to the nonlinearities. We have developed a simulation approach for motion control of servo presses with linkage mechanism through the vector method. In this study, it is shown clearly that the cause of the trajectory fluctuation is the interaction of the nonlinearity of linkage mechanism and the discretization of a output side trajectory. The parameter design becomes easy and convenient by using the proposed diagram for the evaluation. The suitable parameter design shortens the cycle time and reduces the vibration of AC servo presses.

In Chapter 3, this paper proposes a control method for the crank-slider mechanism as the active mass damper (AMD). Vibration isolation systems with spring support cause an increase in oscillating displacement at a natural frequency. Crank-slider mechanisms have been used for many kinds of industrial machines. A system of elastic supported machine frame with crank-slider mechanism can be expressed as time-varying system depends on crank angle. A state equation which contained variable parameters in coefficient matrices is derived from non-linear equations of motion. A controller is adapted the gain-scheduled control method for frame vibration reduction, and the linear velocity control method for crank motion control. State feedback gains are calculated by the linear quadratic regulator (LQR). The proposed method is confirmed by analysis and experiment. As results, the system is reduced disturbance vibration by using the slider as active mass. Furthermore, the system can consist of low costs since the existing mechanisms are used.

In Chapter 4, this paper proposes a control method for both position and force of electric servo die cushions and a reduction method of an impact force. In deep-drawing process of sheet metal, an improvement of response and a control of shock are required of the die cushion in order to control optimally and precisely of the blank holder force. Novel die cushions with electric servomechanisms are developed for the blank holder force control. The controller automatically selects alternative of a position feedback loop and a force feedback loop. The die cushions can precisely control the blank holder force by direct sensing of the force. A collision between an upper die and a blank holder arises at a start of process. The controller is switched to the force control from the position control just after the start of process. Transient responses by the proposed control method are confirmed through the simulation and the experiment. Switching time of the control is dependent on a pre-pressure value of the oil cushion and a desired force value. The switching time can be shortened by reduction of the pre-pressure value and by increase of the desired force value from the lower limit. Pre-acceleration control of the die cushion is adopted just before the impact, because the

impact force is proportional to relative velocity between the upper die and the blank holder. The proposed methods can control the blank holder force precisely, and can reduce the impact force.

In Chapter 5, conclusions of the paper are described.

1. 緒 論

近年，板金プレス市場において，サーボモータを駆動源としたプレス機械が急速に普及しつつある．この機械は一般にサーボプレスと呼ばれ，打抜き・曲げ・絞りなど，さまざまな加工方法に適したスライドモーションを自由に設定可能であるという特色を持っている．スライド位置をセンシングしフィードバック制御を行うことにより，従来の機械プレスに比べ，より高精度なモーション制御および位置決め制御が実現できるため，プレス加工製品の精度安定化，高張力鋼板やマグネシウムなど難加工材の成形性向上，運転騒音の大幅な低減等，種々のメリットがある．

本研究では，サーボプレス・サーボダイクッションを対象とし，運動と振動の制御手法開発，理論検討と解析及び実験による検証を行った．

2. リンク機構を有するサーボ系の軌道計画による振動低減

リンク機構を有し汎用の数値制御器(CNC)でモーション制御を行うサーボプレスを対象とした．このプレス機械は，汎用の数値制御器(CNC)を用い，スライド位置をフィードバック制御し，反転モードにて位置決め制御を行う．出力側モーション軌道離散化とリンク機構の非線形性により，入力側に振動が発生し高速化を阻害するという問題を取り扱った．本研究では，リンク機構の非線形性とコントローラの離散化を考慮した軌道計画の設計手法を提案している．駆動部の五節リンクスライダ機構の運動解析にベクトル解法を適用した．モータ軸側振動の発生要因がリンクの非線形性と軌道作成時離散化との相乗効果であることを明らかにした．コントローラの離散化時間間隔と軌道平滑化時定数のパラメータ調整を容易にする，サイクルタイム—ジャーク評価線図を提案した．このパラメータ調整手法による振動低減効果をシミュレーションとサーボプレス実機における実験により検証した．

3. リンク機構を有するアクティブマスダンパによる振動制御

基礎上にフレームを弾性支持したサーボプレスを対象機械と想定し，プレス機械に既存の機構をアクティブマスダンパとして利用し，機械本体の制振を行う手法を提案する．効果確認のための簡易装置として，クランクスライダ機

構を有する振動系を取り扱い，非線形運動方程式によるモデル化を行った．フレーム制振のためのスライダ制御に対し，クランク角度と角速度を可変パラメータとして状態方程式の係数行列に含め，パラメータ凍結法によるゲインスケジュールド制御を適用する．フレーム振動変位・速度を計測し，制御器は状態フィードバック制御で構成する．また，クランク角度・角速度のパラメータ変化に対応したフィードバックゲインは最適レギュレータによりオフラインで求めておく．さらに，既存のクランク角速度制御系と制振制御系を併用する構成とし，容易に既存コントローラヘッドオン可能な形態とする．そして，シミュレーションと簡易装置による実験を行い，提案する手法による制振の効果を確認した．

4. 衝撃負荷を受ける力制御装置の運動と衝撃力の制御

電動サーボダイクッションの位置と力の制御手法および衝撃力の低減手法を提案する．板材の深絞り加工において，しわ押え力の任意で正確な制御のために，ダイクッションは応答性の改善と衝撃の制御が要求される．しわ押え力の制御のために電動サーボによる新しいダイクッションを開発した．コントローラは位置制御のフィードバックループと力制御のフィードバックループを自動的に切り換える．直接的な力のセンシングにより，ダイクッションはしわ押え力を正確に制御することが可能となる．成形開始時，上型とブランクホルダの間に衝突が生じる．成形開始直後，コントローラは位置制御から力制御に切り換える．提案する制御手法によるダイクッションの過渡応答をシミュレーションと実験により確認した．制御の切り換え時間は油シリンダの予圧値と力目標値に依存する．油室の予圧値を下げ，力目標値を下限から立ち上げることでより，切り換え時間が短縮できる．衝撃力は上型とクッションパッドの相対速度に比例するので，衝突直前にダイクッションの予備加速を適用する．提案する手法により，しわ押え力の制御が良好にでき，衝撃力が低減できた．

5. 結 論

5.1 リンク機構を有するサーボ系の軌道計画による振動低減

- (1) リンク機構における非線形性と軌道離散化の相乗効果により，入力側の速度指令がのこぎり状に変動する．
- (2) 提案する1行程のサイクルタイム-最大ジャーク評価線図を利用することにより，パラメータの設計が容易になる．
- (3) 評価値に応じてパラメータを適切に組み合わせることにより，サイクルタ

イム短縮あるいは振動低減ができる。

5.2 リンク機構を有するアクティブマスダンパによる振動制御

- (1) 簡単なモデルにおけるシミュレーションと実験により、提案したシステムによる制振効果の有効性を確認した。
- (2) クランク停止時よりもやや効果が低下するが、クランク速度制御とフレーム制振制御を同時に行った場合でも制振ゲイン一定で外乱振動の整定時間が約 30 % 低減された。
- (3) ゲインスケジュールド制御を適用した場合、外乱振動の整定時間は約 21 % 低減され、一定ゲイン制振制御の場合よりもトルクのピーク値が低めに抑えられた。
- (4) このシステムは、機械の既存の機構を利用するので、わずかなコストアップで制振制御が構築でき、板金プレス機械・鍛造機械等に広く適用が可能であると考えられる。

5.3 衝撃負荷を受ける力制御装置の運動と衝撃力の制御

- (1) 直接的な力を検出しフィードバックすることにより、安定した力制御が可能となった。
- (2) 衝撃力は衝突時の相対速度に比例する。
- (3) 力指令切り換えにより衝撃力が低減される。さらに、衝撃力値は下限の力指令値を調整することにより低減可能である。
- (4) 予備加速により衝突時の相対速度が低減され、衝撃力も低減される。
- (5) 緩衝ばねのばね定数をある値以下に設定すると、1度の加圧で2回の衝突が発生する。
- (6) 適切なばね定数を選択することにより、2回目の衝突時の相対速度が減少し、衝撃力の低減が可能である。
- (7) 2回目衝突時の相対速度がゼロとなる最適ばね定数が存在するが、タッチ速度・ばねストローク長さ等の諸条件により最適値が変わる。
- (8) 力制御において、衝突を起因とした不安定現象は見られなかった。

学位論文審査結果の要旨

当該学位論文に関して、平成 20 年 1 月 29 日に第 1 回審査会を開催し、提出された論文及び関連資料について詳細に検討した。さらに、平成 20 年 2 月 4 日に行われた口頭発表後に、第 2 回学位論文審査会を開き、慎重に審議した結果以下のように判定した。

近年、サーボモータ駆動のスライドまたはダイクッションを搭載した鍛圧機械が開発されており、その制御性を活用して生産工程の短縮や金型の高寿命化が図られている。本論文はさらなる性能の向上を目指したものである。最初に、スライド駆動機構の振動を抑えつつ加工工程の時間短縮を図るため、コントローラの離散時間間隔と軌道平滑化時定数の最適値を決定する方法を提案し、実機においてその有効性を確認している。次に、鍛圧機械から発生する地盤振動を改善するため、スライド運動にアクティブマスダンパの機能を付加し、加工後の振動を急速に減衰させることを試み、模型による実験からその妥当性を確かめている。また、鍛圧機械による深絞り加工においてしわ抑え力を発生するサーボダイクッションを対象とし、位置と力の制御方法及び衝撃力の低減手法について検討、実機においてその効果を確認している。

以上のように本論文は、サーボ駆動の鍛圧機械においてスライド駆動機構及びサーボダイクッションの運動と振動の制御に関し、新規性ある方法を提案し、鍛圧機械の性能向上に対して大いに貢献している。よって博士（工学）論文に値するものと判定する。