

Potenziale der Anwendung und Steuerung von Servopressen

Neugebauer, R.; Blau, P.; Arnold, B.; Wabner, M.; Roth, T.

Abstract

Die aktuellen Entwicklungstrends in der Blechumformung wie die zunehmende Bauteilkomplexität oder der Einsatz neuer, schwerer umformbarer Werkstoffe führen zu steigenden Anforderungen an die Technologie. Daraus resultiert, dass die Umformprozesse mittels konventioneller Ziehtechnik zunehmend nur noch mit einem erhöhten anlagentechnischen Aufwand realisiert werden können. Demgegenüber stehen seit mehreren Jahren Neuerungen im Bereich der Umformmaschinen, die auf dem Einsatz moderner Servoantriebstechnik basieren. Im Folgenden werden die Potenziale der Anwendung und Steuerung von Servopressen beschrieben sowie aktuelle Berechnungsmöglichkeiten und Entwicklungstrends dargestellt.

1 Begriffsbestimmung Servopresse

Als Servopressen sollten Umformmaschinen verstanden werden, die mit Hilfe geregelter Antriebe ein definiertes Weg-Zeit-Verhalten an der Wirkstelle realisieren können, Bild 1.

Neben linearen Primärantrieben (z.B. servo-hydraulische Linearantriebe) werden auch rotatorisch geregelte Antriebe im Pressenbau eingesetzt. Das Hauptmerkmal von rotatorisch angetriebenen Servopressen ist die direkte Verbindung von Servomotor und Pressengetriebe ohne Schwungrad und Kupplung, das bei konventionellen mechanischen Pressen als Energiespeicher für die Technologiephase dient. Der Servomotor wird entweder direkt oder über ein zwischengeschaltetes Vorgelegegetriebe mit dem Pressengetriebe gekoppelt. Mit Variation der Motordrehzahl und Einbindung des Motors als Stellglied in einen entsprechenden Regelkreis, kann die Stößelbewegung beschleunigt oder verlangsamt werden. Begrenzt durch die Antriebsleistung und die Massenträgheit des Servomotors kann das Beschleunigen und Verzögern aber nur innerhalb bestimmter Bereiche erfolgen. Dadurch lässt sich

der Pressenzyklus individuell steuern und flexibel an unterschiedliche Technologien anpassen.

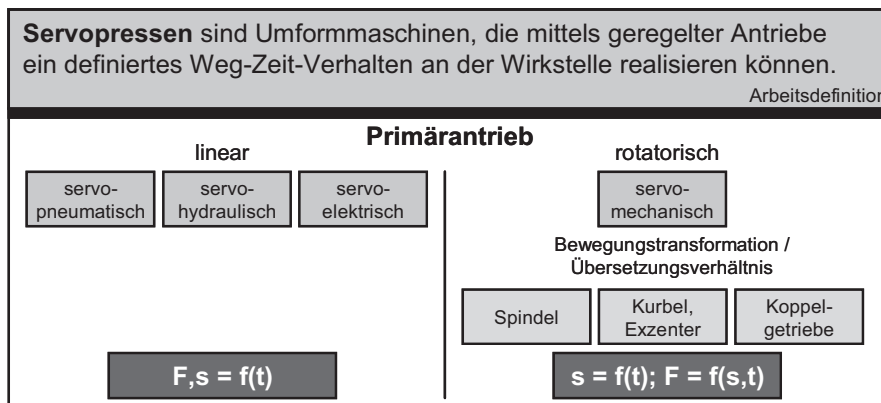


Bild 1: Arbeitsdefinition und Einteilung von Servopressen

Servoantriebe können für weg- oder kraftgebundene Antriebsprinzipien in Umformmaschinen eingesetzt werden. Wegegebundene Servopressen werden überwiegend mit einem Exzenter- bzw. Kurbelgetriebe in Kombination mit einem Vorgelegegetriebe und einem leistungsstarken Torquemotor ausgeführt. Durch das variable, drehwinkelabhängige Übersetzungsverhältnis steht die Nennkraft erst ab dem Arbeitspunkt zur Verfügung.

Gegenüber den weggebundenen Servopressen können die kraftgebundenen Servopressen durch die konstante Übersetzung (Steigung) des Spindelgetriebes die Nennkraft hubunabhängig bereitstellen. Wird zwischen dem Servoantrieb und dem Spindelgetriebe ein Vorgelegegetriebe eingesetzt, so ergibt sich ein Antriebsstrang aus zwei hintereinandergeschalteten Konstantgetrieben.

2 Gegenüberstellung der konventionellen mechanischen Presse mit der Servopresse mit Hebelgetriebe

Die Servopresse vereint größtenteils das flexible Verfahrensprofil einer hydraulischen Presse mit der Produktivität bzw. Geschwindigkeit einer konventionellen mechanischen Presse, Bild 2.

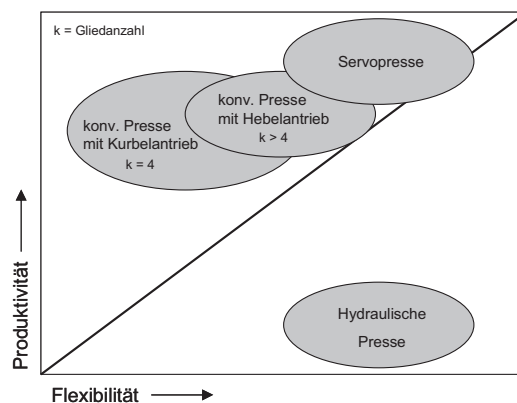


Bild 2: Servopresse im Vergleich zu konventionellen mechanischen und hydraulischen Pressen [1]

Daraus ergeben sich folgende Vorteile einer Servopresse mit Hebelantrieb im Vergleich zu einer konventionellen mechanischen Presse:

- Deutliche Steigerung der Ausbringleistung durch Manipulation der Stößelbewegung im technologiefreien Bereich
- Optimierung der Bewegungskinetik für den Umformprozess gewährt hohe Bauteilqualität und Werkzeugstandzeiten
- Reduzierung bewegter Massen bewirkt eine höhere Stößeldynamik
- Intelligentes Energiemanagement ermöglicht Rückspeisung von Bremsenergie und Reduzierung der Anschlussleistung
- Bedienung der Presse und Tryoutbetrieb des Werkzeugs werden erleichtert
- Hochlaufzeit der konventionellen Presse entfällt und senkt die Ausschussrate, Gutteile ab dem 1. Bauteil möglich
- Stößelkinematik optimal an die Automatisierung anpassbar

Die Auslegung der Servopresse mit Hebelgetriebe und der konventionellen mechanischen Presse erfolgt beiderseits für den Arbeitspunkt. Bei gleichem Pressengetriebe und Arbeitspunkt wird die Nennkraft der Servopresse über das maximale Motormoment und bei der konventionellen mechanischen Presse über das maximal übertragbare Kupplungsmoment bestimmt. Demzufolge besteht bezüglich der Auslegung des Antriebs in Abhängigkeit der Maximalkraft kein Unterschied zwischen der Servopresse und der konventionellen mechanischen Presse. In wie weit sich bei der Servopresse die gewünschten Bewegungsprofile realisieren lassen, wird über die thermische Motorbilanz bzw. dem Effektivmoment bestimmt.

3 Auswirkungen des Einsatzes von Servopressen

3.1 Auswirkungen auf die Peripherie

Die geregelte Stößelbewegung ermöglicht ein sanfteres Anfahren in die Technologiephase als bei konventionellen mechanischen Pressen. Ein in den Umformprozess integriertes Ziehkissen wird dadurch weniger stoßbelastet. Dies führt zu einer höheren Prozessstabilität und einem geringeren Verschleiß.

Mit Hilfe des Einsatzes von servoelektrischen Ziehkissen kann ein geschlossener Energiekreislauf innerhalb der Maschine gebildet werden. Bisher war der Einsatz eines Ziehkissens bezüglich der Energie ausschließlich verlustbehaftet. Wird der Servomotor im Generatorbetrieb eingesetzt, lässt sich die Energie zurückführen und der energetische Wirkungsgrad der Gesamtmaschine erhöhen.

Die Reduzierung der Bauteilanzahl (Kupplung, Schwungrad, Bremse, Getriebestufen, etc.) erhöht die Zuverlässigkeit und die Dynamik der Presse. Des Weiteren entfallen die Bauteil- und Wartungskosten.

Die Zykluszeitreduzierung begrenzt auch zwangsläufig das Zeitfenster für das Werkstückhandling. Da der langsamste Teilprozess die Ausbringrate bestimmt, ist der Betrieb einer Servopresse nur mit einem leistungsfähigen Teilehandling wirtschaftlich sinnvoll [2].

3.2 Auswirkungen auf die Technologie

Die individuell programmierbaren Bewegungskurven ermöglichen die Realisierung einer Vielzahl von Technologien. Neben der Geschwindigkeit kann auch die Lage der Umkehrpunkte verändert werden. Im Vergleich zur konventionellen mechanischen Presse führt dies bei entsprechenden technologischen Operationen zu einer Reduzierung der Zykluszeit. Der Pendelhubbetrieb ermöglicht ohne mechanische Hubverstellung frei programmierbare Stößelhübe im Bereich des Maximalhubes, Bild 3. Ebenso lassen sich Füge- und Prägeoperation durch eine programmierte Rast problemlos in den Zyklus integrieren, Bild 4.

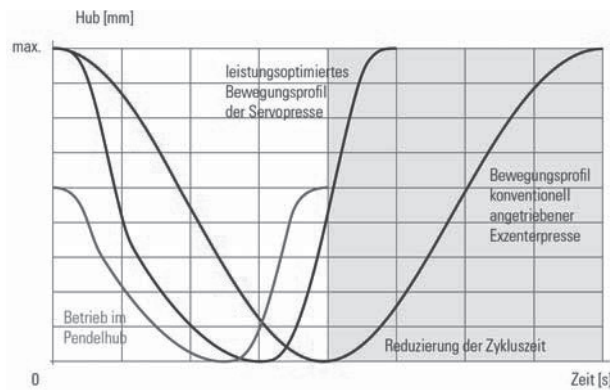


Bild 3: Reduzierung der Zykluszeit bei gleicher Umformgeschwindigkeit [3]

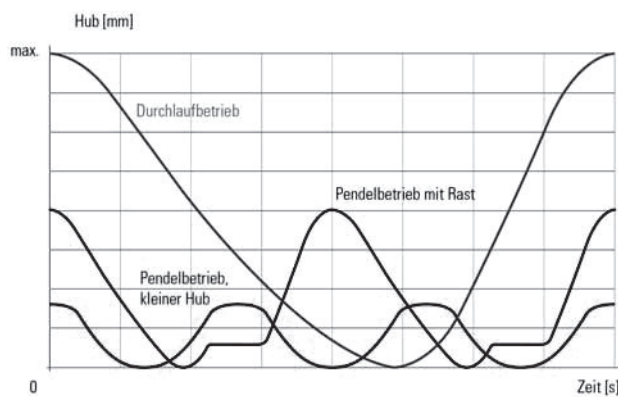


Bild 4: Individuelle Programmierung der Stößelbewegung [3]

4 Statische und dynamische Auslegung am Beispiel einer Spindelpresse

Gegenüber Servopressen mit Exzenter- oder Hebelgetriebe werden an Servospindelpressen aufgrund des direkt angetriebenen Stößels nur geringe rotatorische Massen angetrieben. Damit ergeben sich neue Dimensionen möglicher Beschleunigungen. Um die Maschinen, Werkzeuge und Prozesse sicher und reproduzierbar auslegen zu können, ist die Kenntnis des Technologie beeinflussenden, dynamischen Verhaltens des Gesamtsystems erforderlich. Neben den statischen Kenngrößen spielt deshalb die Betrachtung des dynamischen Verhaltens der Pressenstruktur eine immer wichtigere Rolle.

Die aktuellen Berechnungsmöglichkeiten werden exemplarisch an einer 2 Punkt Servospindelpresse demonstriert. Zur Analyse des kinematisch dynamischen Bewegungsverhaltens wird am Fraunhofer IWU die Methode der Mehrkörper-Simulation (MKS) eingesetzt. Ein Schwingungsmodell einer 2 Punkt Servospindelpresse ohne Ziehkissen ist in **Bild 5** dargestellt. Die Berechnung des dynamischen Verhaltens erfolgt mit integriertem Ziehkissen.

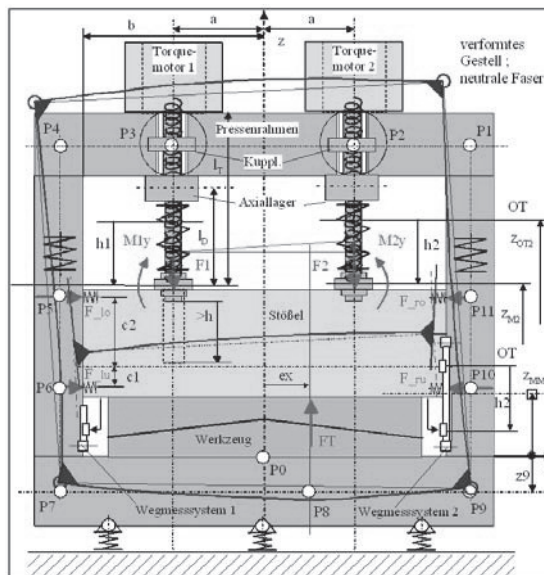


Bild 5: Antriebsstruktur / Schwingungsmodell einer 2 Punkt Servospindelpresse (ohne Ziehkissen)

Als Eingangsparameter der Mehrkörper-Simulation werden realistische Bewegungs- und Kraftverläufe für den Stößel und das Ziehkissen erstellt. Die Verläufe im Technologiebereich und im technologiefreien Bereich (Eilgang, Rückhub) orientieren sich an der Drehzahl-Momentenkennlinie sowie der Hochlaufcharakteristik der eingesetzten Torquemotoren.

Der Eilgang erfolgt mit maximaler Geschwindigkeit, bevor er kurz vor Beginn der Technologiephase abgebremst wird, um einen sanften und werkzeugschonenden Übergang zu gewährleisten, **Bild 6**. Zu Versuchszwecken wird während der Technologiephase ein Belastungsprofil mit Vibration (Zieh-Entlastungs-Profil) zwischen Stößel und Ziehkissen zur Verfahrensoptimierung vorgegeben und der Einfluss auf die Pressenstruktur ermittelt, **Bild 7**. Der Rückhub wird mit dem Ende der Technologiephase eingeleitet und ebenfalls mit maximaler Geschwindigkeit gefahren.

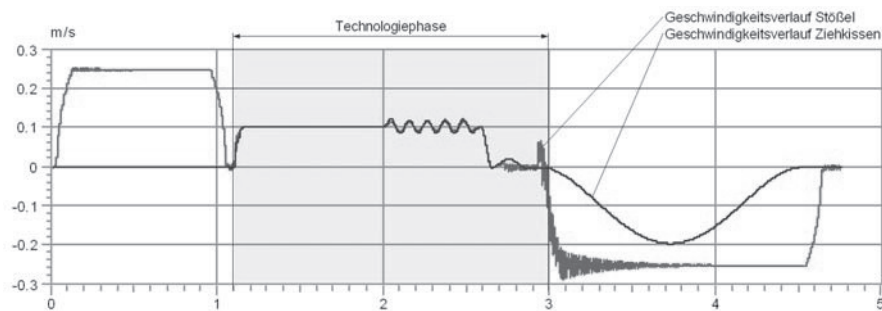


Bild 6: Geschwindigkeitsverlauf vom Stößel und Ziehkissen

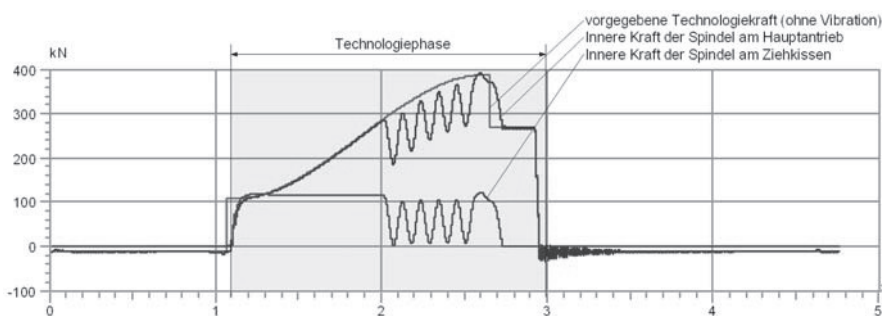


Bild 7: Kraftverläufe der Spindel am Hauptantrieb und am Ziehkissen

Die thermische Motorbilanz basiert auf der Berechnung des Motoreffektivmomentes (quadratischer Mittelwert) und dessen Vergleich mit dem zulässigen Dauerdrehmoment bzw. dem Bemessungsdrehmoment des Servomotors. Mit dem dynamischen Momentenverlauf des Servomotors aus **Bild 8** lässt sich die thermische Motorbilanz aufstellen und die dynamische Auslegung überprüfen.

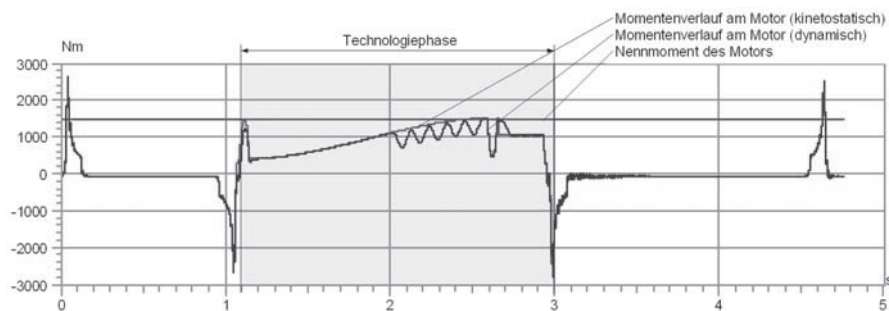


Bild 8: Kineostatischer und dynamischer Momentenverlauf am Motor (Hauptantrieb)

Das vorliegende Beispiel zeigt den Einsatz moderner Berechnungs- und Simulationsmethoden an einer Servospindelpresse. Das statische und dynamische Maschinenverhalten lässt sich in der Konstruktionsphase vorab simulieren und bietet die Möglichkeit Schwachstellen optimierend entgegenzuwirken. Dadurch lassen sich die Entwicklungskosten und -zeiten erheblich reduzieren sowie das statische und dynamische Betriebsverhalten ermitteln.

5 Entwicklungstrends

Die zunehmende Flexibilisierung der Pressenanlagentechnik führt zu steigenden Nennhubzahlen. Der Anteil von Servopressen im Bereich Neumaschinen wird zunehmen und auch im Bereich der Presswerkzeuge neue Möglichkeiten eröffnen [2]. So setzt z.B. der Automobilhersteller BMW bei der Verarbeitung von höher- und hochfesten Stählen zukünftig auf die Servopresstechnik. Eine Servopressenlinie in Kombination mit einem Hochleistungstransfersystem ermöglicht nicht nur neue Technologien, sondern erlaubt auch passgenaue Prozessschnittstellen. [4]

Die Entwicklung und Umsetzung neuer ressourcen- und energieeffizienter Umformmaschinen bzw. Fertigungseinrichtungen und energieeffizienter Fertigungsprozesse innerhalb ressourcenschonender Fabrikstrukturen wird heute als wichtiges Entwicklungsziel angesehen. Unter dem allgemeinen Begriff Ressourceneffizienz ist dabei die mehrkriterielle Optimierung der Faktoren Energie, Material, Zeit und Wissen zu verstehen.

Der Optimierung der Effektivität („Das Richtige tun“) und der Effizienz („Es richtig tun“) bei Energieeinsatz in Umformmaschinen kommt aktuell eine besondere Bedeutung zu. Die Potenziale zur Erhöhung der beiden Kennwerte lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Beeinflussung der Prozessparameter, insbesondere der Umformkräfte durch entsprechende **Bauteilgestaltung**

- geringer Verschnitt
- geringe Umformstufenzahl
- Prozesskettenverkürzung
- Near net shape und Fertigbearbeitung

2. Erhöhung der Energieeffizienz in **Werkzeug und Ziehkissen**

- Sekundärnutzung von thermischen Verlustenergien bei der temperierten Umformung
- Ersatz der Drosselregelung bei Ziehkissen durch Energiespeicher- und -rückführsysteme [5]
- optimale Materialausnutzung im Werkzeug durch Topologieoptimierung

3. Erhöhung der Energieeffizienz und -effektivität der **Maschine**

- Rückspeisung von Bremsenergien
- Reduzierung bewegter Massen durch Topologieoptimierung
- Reibungsminimierung durch Nanokompositschichten
- bedarfsgerechte Regelung von Hilfssystemen
- hohe Verfügbarkeit
- Energetisch-wirtschaftliche Optimierung Bewegungszyklus des Stößels

Insbesondere die energetisch-wirtschaftliche Optimierung des Bewegungszyklus des Stößels besitzt bei Servopressen aufgrund des nahezu frei programmierbaren Bewegungsprofils einen besonders hohen Stellenwert. Da bei Servopressen die Energie für die Bewegung und den Umformprozess ausschließlich von den Servoantrieben bereitgestellt wird, führt das starke Beschleunigen und Abbremsen zu einem wechselnden Energiefluss. Mit einem effizienten Energiemanagement und Energiespeicher können die starken Brems- und Beschleunigungsspitzen in der Maschine abgebaut werden. Dadurch lassen sich die Stromspitzen zur Einspeisung hin glätteten und die Anschlussleistung deutlich reduzieren [6]. Die Nutzung von Simulationswerkzeugen zur Ermittlung des Energiebedarfs der Maschine bei Umformprozessen [7] wird hier zukünftig eine noch größere Bedeutung besitzen.

Ein weiterer Punkt, der zunehmend an Bedeutung gewinnen wird, ist die energetisch optimale Integration der Maschinenteknik in das gesamte Fertigungs- und Fabrikumfeld. Eine deutliche Erhöhung der Energieeffizienz macht eine noch konsequentere Realisierung geschlossener Energiekreisläufe im Produktionssystem und in der Interaktion mit der Umgebung (Fabrik, Fertigungslinie) durch Integration und Nutzung geeigneter Energiemanagement-Systeme erforderlich. Diese Innovation wird in einigen Bereichen zur Substitution konventioneller Fertigungsmittel sowie -technologien und somit zu einer signifikanten Fertigungsumgestaltung führen.

Teile des Beitrags entstanden im Rahmen des durch die Europäische Union aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) sowie aus Landesmitteln des Freistaates Sachsen geförderten Projekts eniPROD.

Literaturangaben

- [1] Miyoshi, K: *Current Trends in Free Motions Presses*, Proc. 3rd JSTP Int. Seminar on Precision Forging, (2004), S. 69-74.
- [2] Hofele, H.: *Servopressen im Produktionsprozess*. In: *Servopressen und Werkzeugsysteme zur Blechverarbeitung*. Europäische Forschungsgesellschaft für Blechverarbeitung (Hrsg.), 29. EFB-Kolloquium Blechverarbeitung 2009, Tagungsband T30, S. 19-50.
- [3] Schuler AG (Hrsg.): *Stanz- und Umformautomaten mit ServoDirekt-Technologie*. Göppingen, 2008. - Firmenschrift.
- [4] Munde, A.: *Pressentechnik - Pressen mit Servoantrieb setzen zukünftig Industriestandard*. In: @blechnet.com, 3-2008, S. 22-25.
- [5] Putz, M.; Karczewski, Z.: *Pumpen-Motor-Prinzip in Verdrängerschaltungen energiesparender Ziehpressen*. Tätigkeitsbericht 1995, Fraunhofer-IWU Chemnitz S.37.
- [6] Siemens AG (Hrsg.): *SIMOTION - Die Komplettlösungen für Servopressen*. Erlangen, 2008. - Firmenschrift.
- [7] Neugebauer, R.; Noack, S.; Klug, D: *Simulation of energy flow in hydraulic drives of forming machines*. International Conference on computational Methods in Fluid Power Technology 1, 2003, Melbourne, S.333-348.