
Komplexe Umformung in einem Pressenhub durch Schmieden mit mehrdirektionalen Werkzeugen



Zusammenfassung

Beim Schmieden können Hinterschnitte und komplizierte Geometrien meist nur mit viel Gratanteil oder in vielen Umformstufen hergestellt werden. Durch den Einsatz von mehrdirektionalen Schmiedewerkzeugen lässt sich innerhalb eines Umformschrittes ein hoher Umformgrad erzielen. Somit können komplizierte Schmiedegeometrien in einem oder wenigen Schritten hergestellt und bei Bedarf zusätzlich Hinterschnitte eingeformt werden.

Die Verwendung von Schieberwerkzeugen zeichnet sich durch eine hohe Variantenvielfalt bei geringen Rüstkosten durch den modularen Werkzeugaufbau aus, welches ein entscheidender Vorteil für Unternehmen ist. Dadurch können diese flexibler produzieren und ihre Prozessketten optimieren. Zum Beispiel können Prozessschritte eingespart werden, indem die Formfüllung mit einem Umformschritt weniger erreicht wird.

In diesem Whitepaper wird erklärt, was das mehrdirektionale Schmieden charakterisiert und wie es sich im Laufe der Historie von ersten Patenten über Forschungsarbeiten bis zu aktuellen industriellen Einsätzen entwickelt hat. Es wird erläutert, wie mehrdirektionale Werkzeuge aufgebaut sind und welche Variationsmöglichkeiten bestehen.

Einleitung

Was ist mehrdirektionales Schmieden?

Das mehrdirektionale Schmieden ermöglicht die Umformung eines Werkstücks aus mehreren Raumrichtungen in einem Pressenhub. Dieses kann zum einen durch klassische Ober- und Untergesenke erfolgen, in die bspw. hydraulisch angetriebene Schieber horizontal einfahren. Entsprechend müssen bei dieser Variante zusätzliche Peripheriegeräte (Hydraulikaggregate, Druckzylinder, Druckschläuche etc.) beschafft werden. Die Alternative funktioniert ohne solche zusätzliche Peripherie: dabei wird ein Werkzeug in die Schmiedepresse eingebaut, das über einen Mechanismus (z. B. Keiltrieb) das Umformen aus mehreren Richtungen

realisiert, ohne zusätzliche Aggregate. Je nach Werkzeuggestaltung kann das komplette Schmiedeteil umgeformt oder nur einzelne Bereiche wie z. B. Bohrungen vorgeformt werden.

Wie funktioniert ein mehrdirektionales Schmiedewerkzeug?

Klassisch verfährt eine Umformpresse (z. B. Exzenterpresse, Spindelpresse, hydraulische Presse) in einer einzelnen Richtung, meist vertikal. Die Umformung erfolgt dabei über ein Obergesenk, das auf ein Untergesenk zufährt.

Beim mehrdirektionalen Schmieden wird die vertikale Bewegung des Pressenstößels/des Obergesenks meist über Keile, aber auch Kniehebel, in die horizontale Richtung umgelenkt. Die horizontale Umformung erfolgt durch sogenannte Schieber, während meist die vertikale Umformung durch einen im Obergesenk geführten Stempel erfolgt. Ein mehrdirektionales Schmiedewerkzeug (siehe Bild 1) ist in diesem Sinne ein komplexes Schieberwerkzeug.

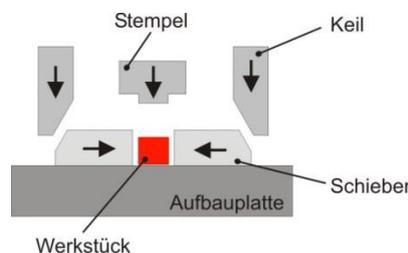


Bild 1: Kernelemente eines mehrdirektionalen Schmiedewerkzeugs

Die Umlenkung erfolgt meist um 90°. Außerdem kann in der horizontalen Ebene über zusätzliche Keile die Bewegung weiter umgelenkt werden. Somit ist insgesamt eine Umformung in mindestens zwei Raumrichtungen, mit mittlerem Aufwand auch in drei Raumrichtungen möglich. Technisch denkbar ist auch eine Umformung in allen möglichen Richtungen.

Da bei einer gleichzeitigen Umformung aus mehreren Raumrichtungen eine Kollision der Schieber und Stempel theoretisch möglich ist, ist die Kinematik der einzelnen Werkzeugelemente essentiell. Die Bewegung des Obergesenks/Stempels wird von den sich horizontal bewegenden Schiebern durch Federn entkoppelt (siehe Bild 2).

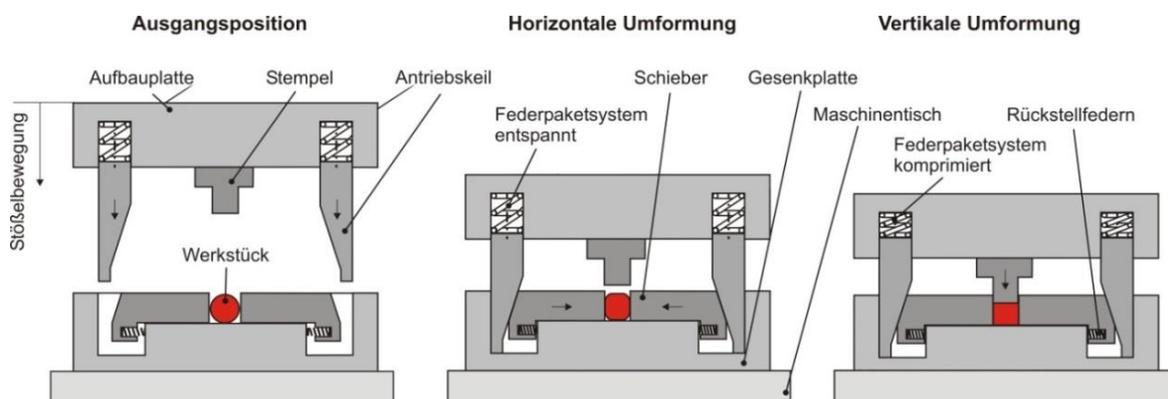


Bild 2: Kinematik eines mehrdirektionalen Schmiedewerkzeugs mit Darstellung der Funktion der Federn

Je nach Anordnung der Federn, kann die Reihenfolge der Umformung (vertikal/horizontal) getauscht werden (siehe Bild 3).

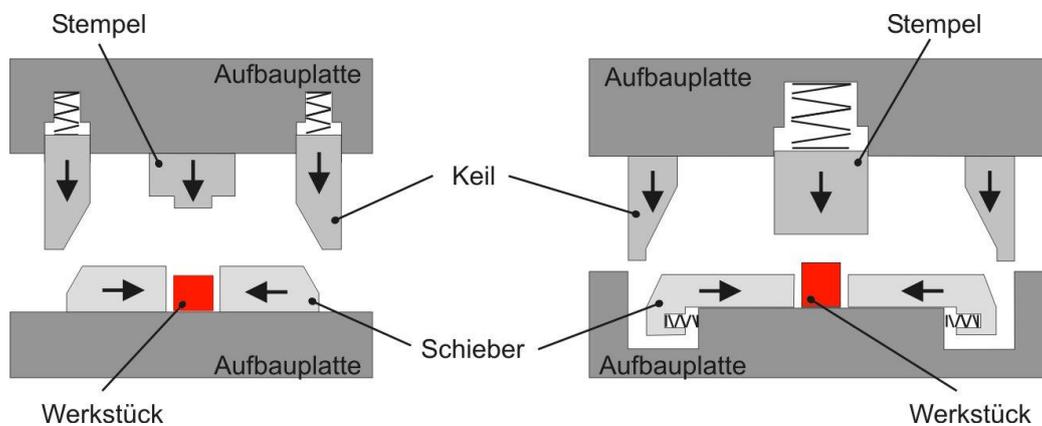
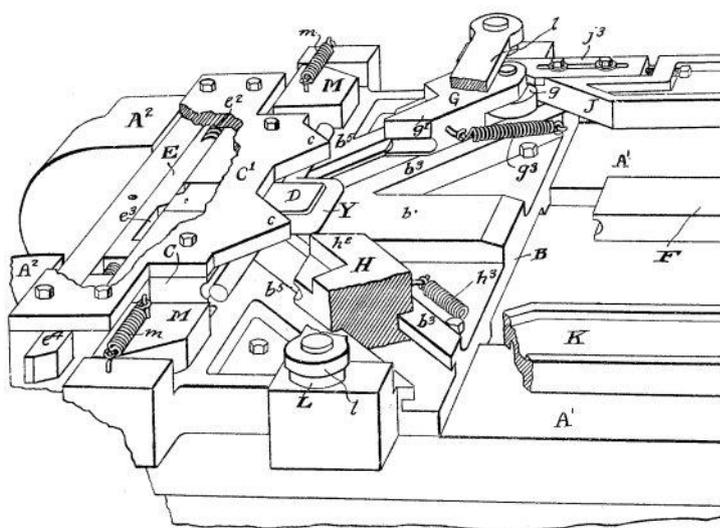


Bild 3: Position der Federpakete bei unterschiedlichen Umformreihenfolgen

Historie des mehrdirektionalen Schmiedens

Patente zum mehrdirektionalen Schmieden

Das mehrdirektionale Schmieden hat eine lange Historie. Bereits im Jahr 1914 wurde von WHITE ein „Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von gekröpften Kurbelwellen und dgl.“ patentiert [Whi14]. Hierbei wird ein Stangenabschnitt erwärmt, mittels einer Vorrichtung über ein feststehendes Gesenkmittelteil in die gekröpfte Stellung gebogen und am Stangenabschnittsende gestaucht (siehe Bild 4).



„Schaubildliche Ansicht von der rechten Seite der Maschine, wobei die Vorderseite der letzteren links liegt und einzelne Teile zwecks größerer Übersichtlichkeit weggelassen sind“

Bild 4: Darstellung des mehrdirektionalen Schmiedewerkzeugkonzepts aus dem ersten Patent [Whi14]

Kurz danach ist von JAKOWITCH in seiner Arbeit „Verfahren zum Pressen von Kurbelwellen“ ein mehrdirektional wirkendes Umformwerkzeug beschrieben worden [Jak18]. Bei diesem Verfahren wird die Kröpfung der Kurbelwelle aus einem Rundstahl durch einen Stempel herausgepresst, mit einer gleichzeitigen Einwirkung von zwei quer zur Welle angeordneten beweglichen Druckbacken (siehe Bild 5).

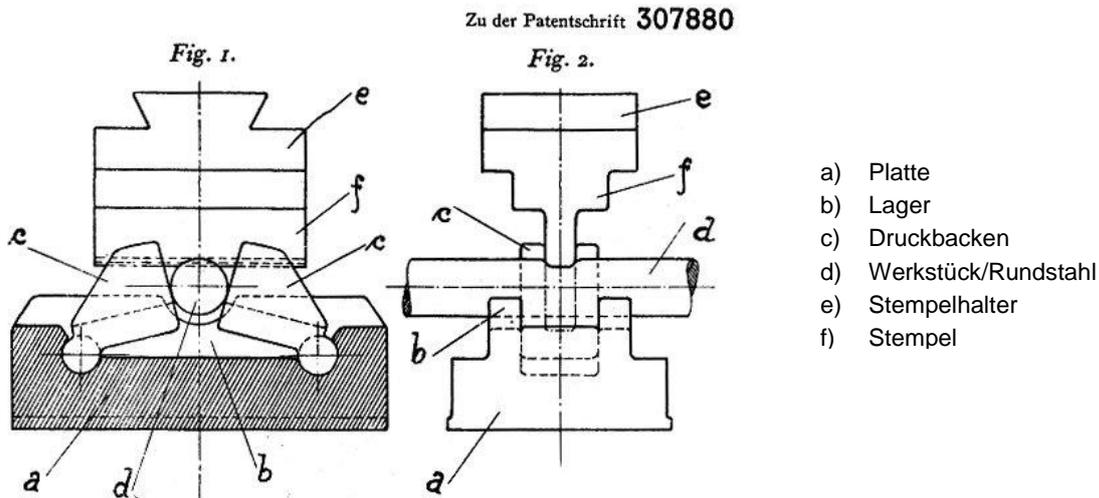


Bild 5: Verfahrensvorgänge des Patents zum mehrdirektionalen Schmieden von Kurbelwellen [Jak18]

Nachdem lange keine weiteren Patente eingereicht wurden, lies RUT 1971 ein mehrdirektional wirkendes Werkzeug patentieren [Rut71]: In „Vorrichtung zum Schmieden von Kurbelwellen“ wird eine Werkzeugvorrichtung beschrieben, die aus zwei getrennten Ober- und Unterwerkzeugen zum Schmieden von Kurbelwellen durch gleichzeitiges Stauchen und Biegen besteht. Darüber hinaus hat im Jahr 1981 RUT in „Verfahren zum Schmieden von Kurbelkröpfungen“ ein Schmiedeverfahren dargelegt, bei dem die Kurbelkröpfungen durch das Stauchen und Biegen des Mittelteils eines Stababschnittes senkrecht zur Stauchrichtung hergestellt werden [Rut81]. 1983 wurde von RUT die Verwendung des Kniehebelprinzips in „Preßvorrichtung, insbesondere Vorrichtung zum Pressen von achsstummelfreien Kurbelhüben“ vorgestellt [Rut83]. Eine „Vorrichtung zum Schmieden von Kurbelhüben in einer vertikal wirkenden Schmiedepresse“ hat 1984 RUGET beschrieben [Rug84]. Mit dieser Vorrichtung können winkelpersetzte Kurbelhübe axial auf einer vertikal wirkenden Schmiedepresse geschmiedet werden. Ein mehrdirektionales Umformwerkzeug mit Keilprinzip wurde 1997 in der Patentschrift „Gesenk zur Herstellung von Werkstücken mit exakt definierter Masseverteilung entlang der Längsachse“ von DOEGE und BROß vorgestellt [Doe97]. Das Werkzeug kann in vertikaler und horizontaler Richtung mit einem Arbeitshub umformen. Im Rahmen des Forschungsprogramms „Prozesskette zur Herstellung präzisionsgeschmiedeter Hochleistungsbauteile“ aus dem Sonderforschungsbereich 489 der Deutschen Forschungsgesellschaft (DFG) wurden dieses und weitere Werkzeugkonzepte erprobt und zum Teil erstmals in Form von Versuchswerkzeugen technisch umgesetzt [Ode14].

Forschungsarbeiten zum mehrdirektionalen Schmieden

Nach den ersten Patenten zum mehrdirektionalen Schmieden von Kurbelwellen mittels Schieberwerkzeugen wurde die Forschung zum Thema mehrdirektionale Schieberwerkzeuge in den vergangenen zwanzig Jahren vornehmlich in der Arbeitsgruppe von DOEGE und BEHRENS betrieben (vgl. [Doe10]).

Für einfache Langteile wurde in der Arbeitsgruppe untersucht, wie sich Vorformen mit einem mehrdirektionalen Schieberwerkzeug gratlos herstellen lassen (vgl. Bilder 1 bis 3 und [Hus04]). Die Ergebnisse der Untersuchungen auf einer Spindelpresse ermöglichen eine Verkürzung der Prozesskette und eine Verminderung der Wärmeverluste sowie der Zunderanteile. Dadurch ist eine genauere Temperaturführung des Schmiedeprozesses möglich.

Für die Aluminiummassivumformung hat STONIS ein mehrdirektional wirkendes Schieberwerkzeug zur Vorformung von flachen Langteilen entwickelt [Sto11]. Die Entwicklung basiert auf einer Studie von 15 zeitlich und räumlich verschiedenen Kombinationen der vertikalen und horizontalen Umformung. Parallel wurde im oben bereits erwähnten DFG-Sonderforschungsbereich 489 das Konzept zur gratlosen Herstellung von Kurbelwellen in mehreren Entwicklungsstufen untersucht [Bac14].

Praktische Anwendung

Auslegung mehrdirektionaler Schmiedewerkzeuge

Kombinationsmöglichkeiten

Am Beispiel einer mehrdirektionalen Umformung aus zwei Raumrichtungen können die vielen Möglichkeiten, wie die Reihenfolgen der einzelnen Umformungen kombiniert werden können, dargestellt werden. Für solch ein zweidirektionales Schmieden können je zwei der drei Hauptachsrichtungen miteinander verknüpft und die umformende Wirkung des Werkzeugs in der dritten Raumrichtung deaktiviert werden. Es ergeben sich zeitlich somit folgende drei Möglichkeiten:

- zuerst horizontale Umformung, danach vertikale Umformung
- zuerst vertikale Umformung, danach horizontale Umformung
- simultane vertikale und horizontale Umformung

Räumlich ergeben sich fünf verschiedene Kombinationen. Bild 6 zeigt die möglichen Umformrichtungen in Bezug zum Stempelabschnitt und zur Stößelrichtung sowie die sich daraus ergebenden Kombinationsmöglichkeiten. Die fünf verschiedenen räumlichen Kombinationen können in die jeweils drei verschiedenen zeitlichen Abläufe eingeteilt werden. Zusammen ergeben sich aus den zeitlichen und räumlichen Möglichkeiten zur Umformung insgesamt 15 verschiedene Kombinationen.

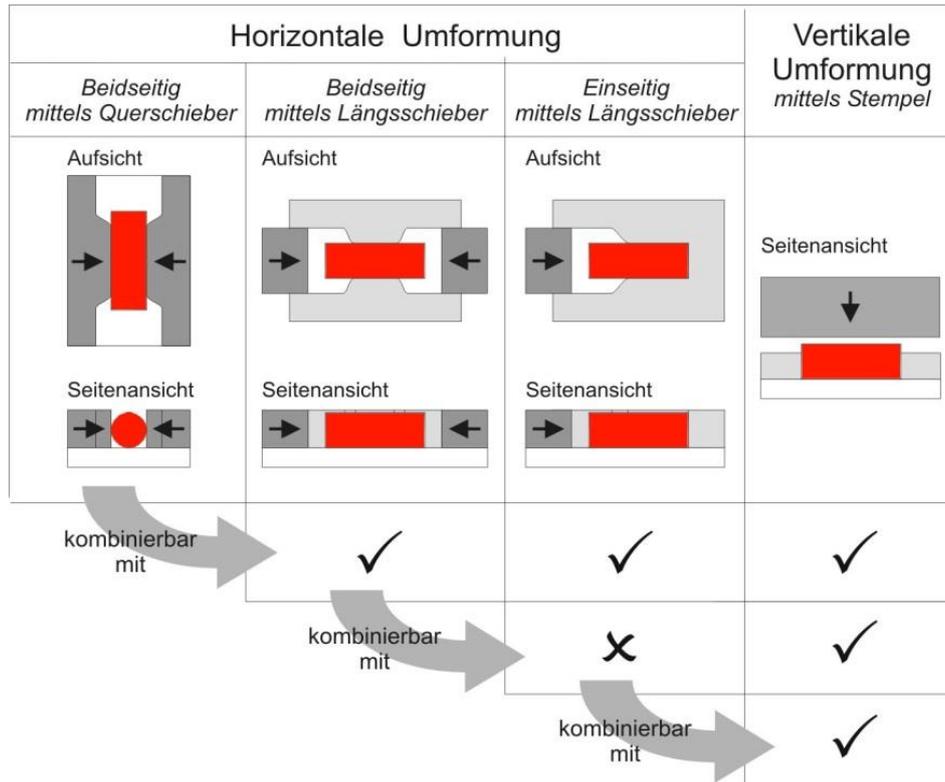


Bild 6: Mögliche Bewegungsrichtungen der formgebenden Elemente sowie sich daraus ergebende räumliche Kombinationen

Schiebergeometrien

In den bisherigen Bildern wurde meist ein Schieber mit einer geraden Form gezeigt. Dabei kann die Schiebergeometrie variabel gestaltet werden, um eine gezielte Formgebung des umzuformenden Bereiches zu erhalten. Massenanhäufungen, bspw. an Bauteilenden von flachen Langteilen, lassen sich grundlegend zu drei charakteristischen Formen zurückführen: eine gerade, eine konvexe und eine konkave Längsschiebergeometrie (siehe Bild 7).

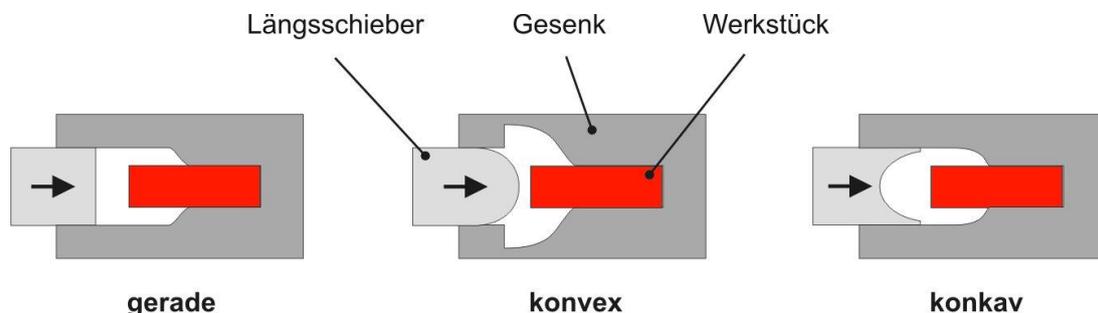


Bild 7: Beispiele für mögliche Schiebergeometrien

Anwendungsbeispiele

Gleichlaufgelenk

Ein mehrdirektional wirkendes Werkzeugsystem zum Einbringen von Hinterschnitten in ein Gleichlaufgelenk (siehe Bild 8) durch einen Präzisionsschmiedeprozess wurde von WIESNER entwickelt [Wie96].

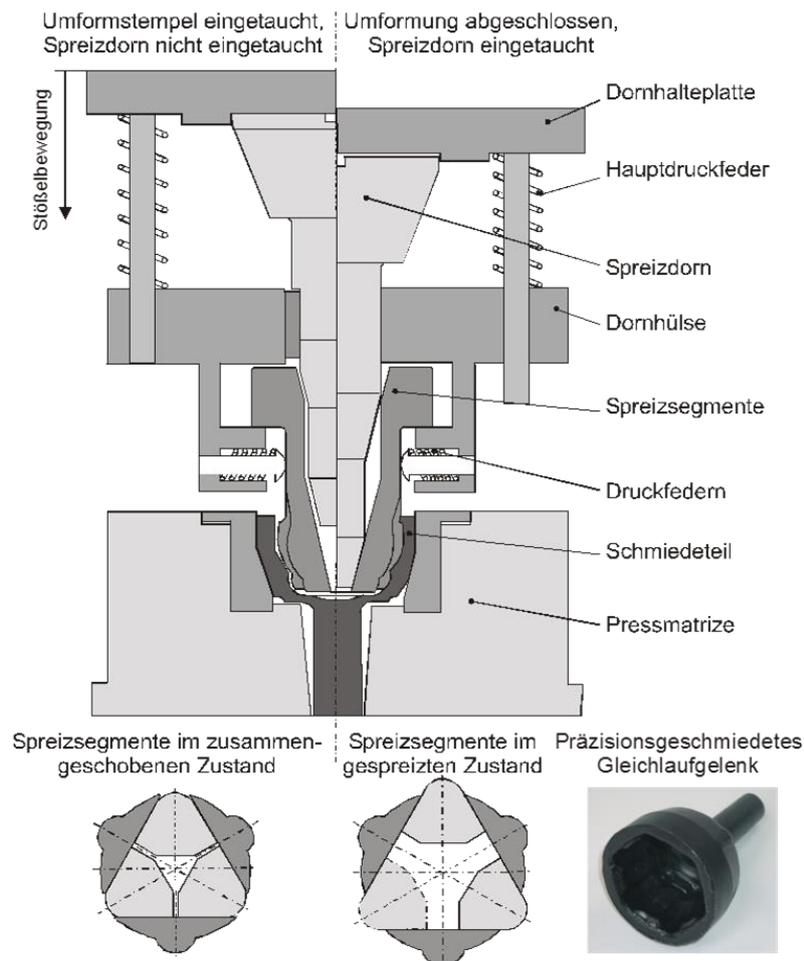


Bild 8: Werkzeugsystem der dritten Formgebungsstufe zum Präzisionsschmieden hinterschnittener Gleichlaufgelenke [Wie96]

Dabei werden radiale Hinterschnitte in den inneren Kugel- und Käfiglaufbahnen eingeprägt. Zur Erzeugung der inneren Hinterschnitte wurde die Geometrie des Stempels in drei innere und drei äußere formgleiche Segmente geteilt. Die sechs Segmente werden durch ein vom Maschinenstößel entkoppeltes Werkzeugsystem gespreizt, um die Hinterschnitte in das Gleichlaufgelenk einbringen zu können.

Gangräder

Ein weiteres Verfahren zum mehrdirektionalen Schmieden von Hinterschnitten bei Pkw-Gangrädern wurde von DREYER entwickelt [Dre02]. Der Umformprozess besteht aus zwei Prozessschritten. In der ersten Umformstufe wird das Bauteil bis auf den Hinterschnitt fertig geschmiedet. Der Hinterschnitt beim rotationssymmetrischen Gangrad wird im zweiten Umformschritt eingebracht. Das Werkzeug zum Einbringen der Hinterschnitte ist modular aufgebaut. Mittels Keilen wird die Stößelbewegung von der vertikalen Richtung in eine horizontale, radiale Umformbewegung umgeleitet, so dass die Schieber Elemente das Bauteil lokal im Bereich der Hinterschnitte umformen (siehe Bild 9). Das Bauteil kann im Anschluss an die Umformung aus dem geöffneten Werkzeugsystem zerstörungsfrei entnommen werden.

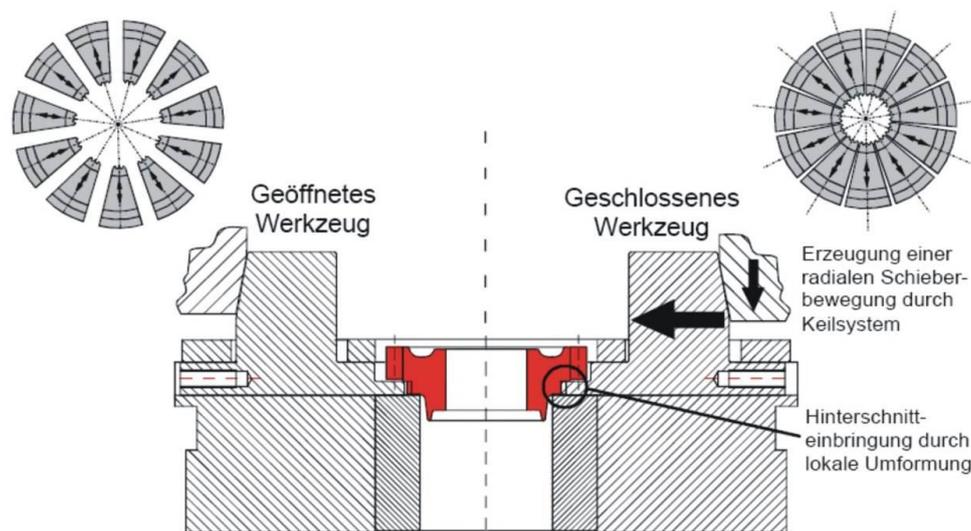


Bild 9: Mehrdirektionales Werkzeugsystem zur Hinterschnitterzeugung bei Pkw-Gangrädern [Dre02]

Kurbelwelle

Das gratlose Präzisionsschmieden von Kurbelwellen ist eine der komplexesten Schmiedepoperationen. Hierbei hat sich das mehrdirektionale Schmieden als ein essentieller Schritt herausgestellt. Eine fehlerfreie, gratlose Umformung der Pleuellager ist ohne einen horizontalen Querversatz nicht möglich. Im hier entwickelten mehrdirektionalen Schmiedewerkzeug (siehe Bild 10) am Beispiel von Zweizylinderkurbelwellen wird die vertikale Kraft und Bewegung des Pressenstößels in die horizontale Richtung über ein axial und radial angeordnetes Keilgetriebe umgelenkt. Der Lagerversatz der Pleuellager wird mittels der inneren Werkzeugkomponenten, die zeitgleich mit den äußeren Komponenten des Werkzeugs verfahren, über das axiale und radiale Keilgetriebe erreicht. Um eine Gratbildung beim Werkstück zu verhindern, wird die Zuhaltkraft zwischen Ober- und Unterwerkzeug durch Federpakete aufgebracht.

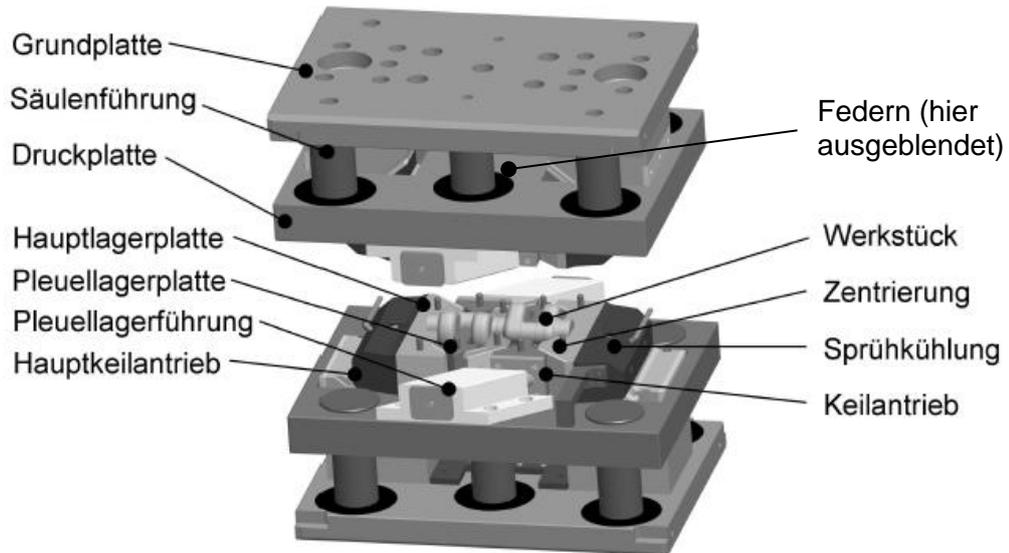


Bild 10: Prinzip eines mehrdirektionalen Werkzeuges mit Federn als Zuhaltemechanismus

Im EU-Projekt „REForCh“ (FP7-SME-2012-1-315106) wurde das komplexe Konzept der mehrdirektionalen Umformung erfolgreich auf eine industrielle Zweizylinderkurbelwelle übertragen. Diese wurde auf einer schnelllaufenden Exzenterpresse mehrdirektional umgeformt [Sto15].

Stahlkolben

Nach demselben Prinzip wird im Projekt „Hinterschnittschmieden Stahlkolben“ (IGF-Vorhaben 18162 N) unter industrieller Beteiligung erforscht, wie beim Schmieden von Stahlkolben für Verbrennungsmotoren ein Hinterschnitt mehrdirektional eingeschmiedet werden kann. Die im Kolben einzubringende Bolzenbohrung liegt quer zur Umformrichtung und stellt somit einen Hinterschnitt dar. Gelingt das mehrdirektionale Schmieden der Bolzenbohrung, kann der Prozessaufwand zur Herstellung des Kolbens deutlich verringert werden.

Offene Fragen zum mehrdirektionalen Schmieden

Obwohl die technische Machbarkeit in zahlreichen Anwendungen aufgezeigt wurde, ist eine systematische Untersuchung hinsichtlich der Standzeit der komplexen Schieberwerkzeuge in allen diesen Forschungsarbeiten nicht erfolgt. Inwieweit die einzelnen Werkzeugelemente im industriellen Einsatz verschleifen, ist bisher somit noch nicht bekannt.

Die Wirtschaftlichkeit des mehrdirektionalen Schmiedens kann also nicht verallgemeinert konkretisiert werden. Die Höhe der Investitionen in die komplexen Werkzeuge muss durch Einsparungen in der Taktzeit sowie beim Material kompensiert werden. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass dieses Verfahren wirtschaftlich ist, wenn große Stückzahlen geschmiedet und dabei komplexe Umformungen in einem Pressenhub vorgenommen werden, wie es beispielsweise bei Kurbelwellen und Kolben der Fall ist.

Literaturverzeichnis

- [Bac14] Bach, F.-W.; Kerber, K.: Prozesskette Präzisionsschmieden. Kapitel 2.3.2.3 "Mehrdirektionales Schmieden", Springer Verlag (2014), S.31-36.
- [Doe10] Doege, E.; Behrens, B.-A.: Handbuch Umformtechnik – Grundlagen, Technologien, Maschinen. 2. Aufl. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2010.
- [Doe97] Doege, E.; Broß, G.: Gesenk zur Herstellung von Werkstücken mit exakt definierter Masseverteilung entlang der Längsachse. Deutsches Patentamt, Patent Nr. DE 196 22 586 A1. Tag der Patentveröffentlichung: 11.12.1997
- [Dre02] Dreyer, G.: Untersuchungen zur Herstellung von komplexen Antriebsbauteilen durch Präzisionsschmieden. Fortschritt Berichte VDI Reihe 2 Nr. 619, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 2002.
- [Hus04] Hustedt, P.; Meyer, E.: Masseverteilung auf neuen Wegen: Mehrdirektional wirkende Werkzeugsysteme. In: Schmiede Journal, o. Jg. (2004), H. 3 IMU e.V., S. 28-29.
- [Jak18] Jakowitsch, J.: Verfahren zum Pressen von Kurbelwellen. Kaiserliches Patentamt, Patent Nr. 307880. Tag der Patentausgabe: 14. 09.1918
- [Ode14] Odening, D.; Meyer, M.; Klassen, A.; Bouguecha, A.; Behrens, B.-A.: Präzisionsschmieden. In: Prozesskette Präzisionsschmieden, Springer Verlag (2014), S. 15-51.
- [Rug84] Ruget, G.: Vorrichtung zum Schmieden von Kurbelhüben in einer vertikal wirkenden Schmiedepresse. Patentinhaber: Creusot-Loire. Deutsches Patentamt, Patent Nr. DE 1936012. Tag der Patentveröffentlichung: 14.06.1984
- [Rut71] Rut, T.: Vorrichtung zum Schmieden von Kurbelwellen. Anmelder: Centralne Laboratorium Obrobki Plastyczonej. Deutsches Patentamt, Patent Nr. DE 1527280. Tag der Patentveröffentlichung: 11.02.1971
- [Rut81] Rut, T.: Verfahren zum Schmieden von Kurbelkröpfungen. Patentinhaber: Instytut Obrobki Plastyczonej. Deutsches Patentamt, Patent Nr. DE 2823799. Tag der Patentveröffentlichung: 16.04.1981
- [Rut83] Rut, T.: Preßvorrichtung, insbesondere Vorrichtung zum Pressen von achsstummelfreien Kurbelhüben. Patentinhaber: Instytut Obrobki Plastyczonej. Deutsches Patentamt, Patent Nr. DE 2660538. Tag der Patentveröffentlichung: 10.03.1983
- [Sto11a] Stonis, M.: Mehrdirektionales Schmieden von flachen Aluminiumlangteilen. In: Behrens, B.-A.; Nyhuis, P.; Overmeyer, L. (Hrsg.): Berichte aus dem IPH, Band 01/2011, PZH Produktionstechnisches Zentrum GmbH, Garbsen 2011.
- [Sto15] Stonis, M; Langner, J; Blohm, T.: Induction reheating of preforms and flash reduced forging of crankshafts. In: European Steel Technology and Applica-

tion Days, 15.-19.06.2015, Düsseldorf, Conference Proceedings, paper no. P672.

- [Whi14] White, W.: Verfahren und Vorrichtung zur Herstellung von gekröpften Kurbelwellen und dgl. Kaiserliches Patentamt, Patent Nr. 276510. Tag der Patentausgabe: 14.07.1914
- [Wie96] Wiesner, J.: Werkzeugsystem zum Präzisionsschmieden hinterschnittener Gleichlaufgelenke. Fortschritt Berichte VDI Reihe 2 Nr. 397, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1996.

Kontaktdaten

IPH – Institut für Integrierte Produktion Hannover gGmbH
Hollerithallee 6 | 30419 Hannover

☎ +49 (0)511 27976-0 | @ info@iph-hannover.de | 🌐 www.iph-hannover.de