

Info-Reihe Massivumformung, Extraausgabe

***Kaltmassivumformung:
Präzision in großen Serien***

Info
EXTRA

Kaltmassivumformung:

Präzision in großen Serien

Herausgeber:

Infostelle Industrieverband Massivumformung e. V.

Telefon: +49 (0) 23 31 / 95 88 28

Telefax: +49 (0) 23 31 / 95 87 28

Internet: www.metalform.de

E-Mail: orders@metalform.de

Goldene Pforte 1

58093 Hagen, Deutschland

Impressum

Manuskript: Dr.-Ing. Manfred Hirschvogel, Peter Kettner,
Gerhard Linder, Dipl.-Ing. Michael Dahme,
Dr.-Ing. Dirk Landgrebe, Dr.-Ing. Hans-Willi Raedt

Redaktion: **Infostelle** Industrieverband Massivumformung e. V.

Verantwortlich für die Gesamtherstellung: Ing. Werner W. Adlof
Infostelle Industrieverband Massivumformung e. V.

Titelbild: Schuler Pressen GmbH & Co. KG

Layout und Satz: Grafik Design Peter Kanthak, Arnsberg-Neheim

Druckschriften-Nr.: EI-KM-1203-30DOM

Ausgabe: Dezember 2003

ISBN: 3-928726-18-8

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung und der Vervielfältigung, vorbehalten. Auszugsweise Wiedergabe des Inhalts nur nach Rückfrage bei der **Infostelle** Industrieverband Massivumformung e. V. mit Quellenangabe gestattet.

Printed in Germany

Den Veröffentlichungen der **Infostelle** Industrieverband Massivumformung e. V. liegen die Ergebnisse der Gemeinschaftsforschung der im Industrieverband Massivumformung e. V. zusammen geschlossenen Industrierwerke zu Grunde.

Kaltmassivumformung:

Präzision in großen Serien

Bei der Massivumformung wird der Werkstoff – ausgehend von einem Stab- oder Drahtabschnitt in meist gedrungener Form – durch zum Teil große Querschnitts- und Dickenänderungen räumlich verteilt. Im Gegensatz dazu werden bei der Blechumformung flächenhafte Ausgangswerkstücke geformt. Wenn die bei der Massivumformung eingesetzten Werkstoffabschnitte vorher nicht erwärmt sondern bei Raumtemperatur in die Werkzeuge eingelegt werden, spricht man von der Kaltmassivumformung.

Bei diesem Verfahren treten weder Schwindung noch Verzunderung auf; deshalb sind sowohl die Form- als auch die Maßhaltigkeit der so hergestellten Bauteile größer als bei der Warmmassivumformung. Höher legierte Werkstoffe sind jedoch nur eingeschränkt oder gar nicht kalt umformbar.

Die Kaltmassivumformung wird in den letzten Jahrzehnten zunehmend vor allem bei dem Bedarf von großen Stückzahlen, wie sie zum Beispiel in der Fahrzeugindustrie benötigt werden, zur Herstellung präziser Bauteile mit einem konstant hohen Qualitätsniveau angewendet.

Inhalt

	Seite
Wirtschaftliche Bedeutung der Kaltmassivumformung	7
Grundlagen der Kaltmassivumformung	8
Werkstoffe und Wärmebehandlung	9–10
• Grundlagen	9
• Stahlwerkstoffe	9
• Nichteisenmetalle	10
Maschinen und Werkzeuge	10
Formgebung und Toleranzen	11
Teilespektrum der Kaltmassivumformung	12–13
• Kaltfließpressteile mit kurzer Längsachse	12
• Getriebewellen	12
• Hohlteile	13
• Verzahnte Bauteile	13
Halbwarmumformung	14–15
Verfahrenskombination Halbwarm- und Kaltmassivumformung	15–16
Entwicklungstendenzen	16
Literaturverzeichnis	18

Wirtschaftliche Bedeutung der Kaltmassivumformung

Die industrielle Kaltmassivumformung von Metallen ist seit dem Ende des 19. Jahrhunderts bekannt [1]. Seit 1934, mit der Einführung einer leistungsfähigen Oberflächenvorbehandlung [2], sind auch Stahlwerkstoffe der Kaltmassivumformung zugänglich.

Im Wort „Kaltmassivumformung“ sind schon die wesentlichen Merkmale dieses Fertigungsverfahrens beschrieben: Die Umformung, d. h. eine dauerhafte plastische Formänderung eines metallischen, nichtblechförmigen Vormaterialabschnitts, erfolgt bei niedriger Temperatur. Im Gegensatz zur Blechumformung ergibt sich während der Umformung ein dreiachsiger Spannungszustand. Die Kaltumformung wird vor allem für die Fertigung von Bauteilen eingesetzt, die in der Folge nur noch wenig Nacharbeit erfordern.

Die Kaltmassivumformung erreicht höchste Werkstoffausnutzung

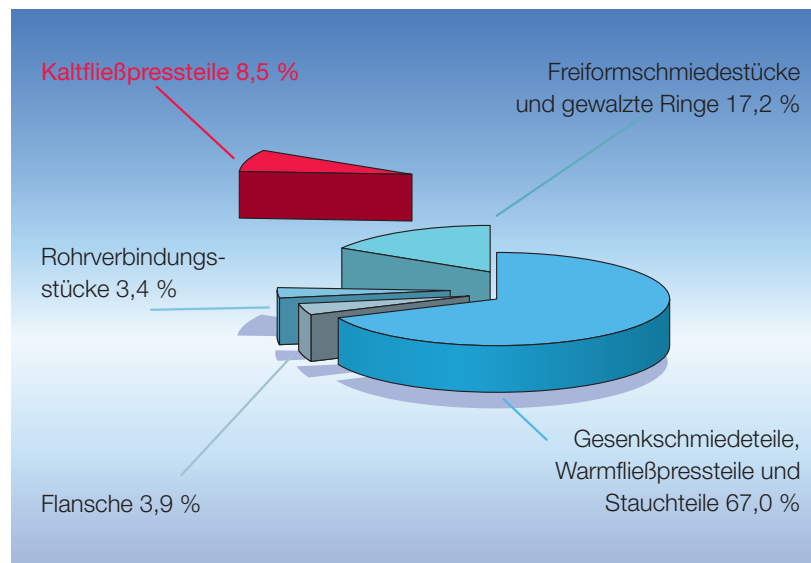


Bild 1: Produktionsanteil der Kaltfließpressteile an den Massivumformprodukten aus Stahl im Jahr 2002

und weist im Vergleich zur Warmmassivumformung und besonders zur spanenden Fertigung den geringsten auf das Fertigteilgewicht bezogenen spezifischen Energiebedarf auf [3].

Die wirtschaftliche Bedeutung der Kaltmassivumformung, auch im Vergleich mit anderen Massivumformverfahren, zeigt Bild 1. Im Jahr 2002 lag das Volumen aller in Deutschland durch Massivumformung hergestellten Produkte aus Stahlwerkstoffen, einschließlich der

Eigenproduktion des Fahrzeug- und Maschinenbaus, bei rund 2,2 Millionen Tonnen. Daran hatten Kaltfließpressteile einen Anteil von 7,6 % (167 000 Tonnen). Allerdings darf der Unterteilung von Warm- und Kaltumformung nicht zu große Bedeutung zugemessen werden, denn die Grenzen verwischen zunehmend: Es werden Kombinationen der verschiedenen Verfahren angewandt, die eine exakte Aufgliederung nicht mehr erlauben [4].

Grundlagen der Kaltmassivumformung

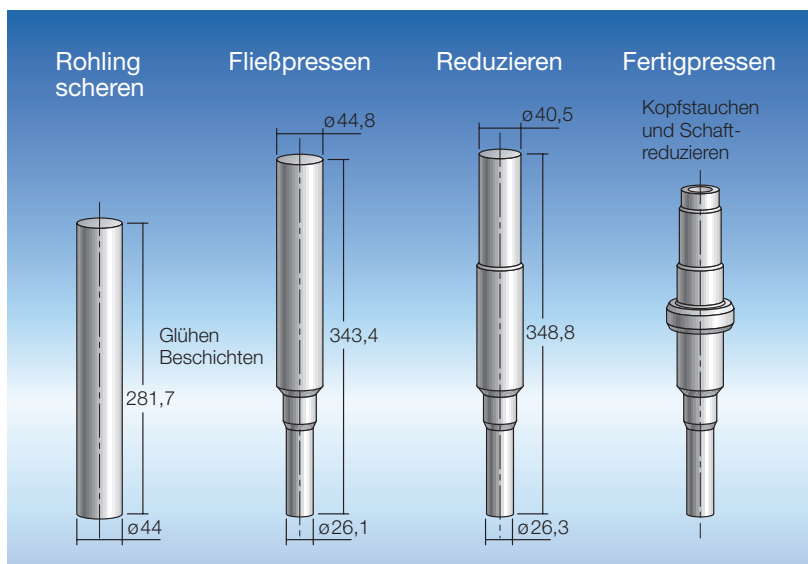


Bild 2: Fertigungsfolge einer kaltfließgepressten Getriebewelle

Der Begriff „Kaltumformung“ kann in zweifacher Weise interpretiert werden. Technisch spricht man von der Kaltumformung, wenn das Werkstück vor dem Umformprozess nicht erwärmt wird [5]. Die Metallphysik präzisiert: Es liegt dann eine Kaltumformung vor, wenn während der Umformung keine Rekristallisation stattfinden kann. Dies trifft zu, sofern die Werkstofftemperatur unter ca. $0,4 T_s$ (Schmelztemperatur in Kelvin) verbleibt [6]. Der Begriff „Kaltumformung“ sollte aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass aufgrund der umgesetzten Umform- und Reibleistung während des Umformprozesses lokal Temperaturen von bis zu 400°C entstehen können (Beispiel: Napfrückwärtsfließpressen eines Einsatzstahls [7]).

Da keine Verzunderung der Bauteiloberfläche auftritt und die thermische Ausdehnung im Vergleich zu Umformprozessen mit Vorwärmung relativ gering ist, ist die Form- und Maßhaltigkeit der durch Kaltmassivumformung hergestellten Bauteile

größer als bei vergleichbaren warm umgeformten Werkstücken. Gegenüber dem Warmmassivumformen wird jedoch beim Kaltmassivumformen die Gestaltungsfreiheit der Presserteile durch die begrenzte Formänderungsfähigkeit des Werkstückwerkstoffs und durch die hohen Kontaktspannungen zwischen Werkstück und Werkzeug eingeschränkt. Zwingende Voraussetzung für das Kaltmassivumformen von Stahl ist daher eine geeignete Werkstoffauswahl, eine spezielle Vorbehandlung der Werkstücke um das Gefüge und die Oberflächenstruktur für die nachfolgende Umformung zu optimieren sowie eine spezielle Werkzeugtechnologie.

Zum Kaltmassivumformen eignen sich neben verschiedenen NE-Metallen vornehmlich unlegierte und niedrig legierte Stähle. Ist bei der Umformung eines Werkstücks das Formänderungsvermögen dennoch erschöpft, kann durch eine Zwischenwärmebehandlung das Gefüge rekristallisiert und das Werkstück weiter umgeformt werden.

Durch Ausnutzung der Kaltverfestigung lassen sich höherwertige Stahlsorten ersetzen. Oft wird allerdings vor einer abschließenden Zerspanung nochmals wärmebehandelt, um die Fertigbearbeitung zu vereinfachen. Dadurch wird der Vorteil der Kaltverfestigung des Werkstoffs wieder aufgehoben. Der Trend geht allerdings zum Verzicht auf diese Wärmebehandlung, da inzwischen zahlreiche Untersuchungen zur spanenden Bearbeitung pressharter Bauteile mit konkreten Angaben optimaler Schnittwerte vorliegen [8]. Einschränkend muss gesagt werden, dass dieser Vorteil nur genutzt werden kann, wenn keine weitere Wärmebehandlung des Werkstoffs aus anderen Gründen (z. B. Einsatzhärten) notwendig ist.

Durch Kaltmassivumformung hergestellte Pressteile zeichnen sich durch hohe Maß- und Formgenauigkeit aus. Dadurch können die Bearbeitungsaufmäße sehr gering gehalten werden. Dies gilt wiederum nur, wenn von einer Wärmebehandlung zur Erleichterung der spanenden Endbearbeitung abgesehen wird. In speziellen Fällen lassen sich komplexe Funktionsflächen, wie z. B. Verzahnungen, Kugellaufbahnen bei Gleichlaufgelenken oder Anlageflächen einbaufertig herstellen. Wie auch bei warm umgeformten Bauteilen ist bei kaltumgeformten Pressteilen der Faserverlauf günstiger als bei entsprechend zerspanend hergestellten Teilen. Dadurch wird eine Steigerung der Dauerwechselfestigkeit erreicht [1].

Die wichtigsten Verfahren der Kaltmassivumformung sind die Fließpressverfahren. Es lassen sich überwiegend rotationssymmetrische Werkstückformen erzielen. Seltener werden Bauteile mit Nebenformelementen durch Kaltmassivumformung hergestellt.

Da die Endgeometrie meist nicht durch einen einzigen Umformvorgang erzielt werden kann, werden verschiedene Fließpressverfahren in Kombination, d. h. in nacheinander geschalte-

ten Umformstufen angewendet. Beispielhaft zeigt Bild 2 die Fertigungsfolge einer kaltfließgepressten Getriebewelle, die durch mehrfaches Reduzieren und Stauchen hergestellt wird.

Werkstoffe und Wärmebehandlung

Grundlagen

Für die spezifischen Eigenschaften eines Bauteils sind in erster Linie die chemische Zusammensetzung (Art und Menge der Legierungsbestandteile) sowie der Wärmebehandlungszustand (Gefügeausbildung) maßgebend. Zwei Faktoren sind notwendig, um die Umformbarkeit eines Werkstoffs zu beurteilen: Die Fließspannung und das Umformvermögen.

Die Fließspannung eines Werkstoffs bestimmt, welche Vergleichsspannungen im Werkstoffvolumen erzeugt werden müssen, damit die plastische Verformung einsetzt und bei höheren Umformgraden aufrecht erhalten werden kann. Sie bestimmt damit die Spannungen, die auf das Werkzeug wirken und somit die Belastung des Werkzeugs (sowohl an der Werkzeugoberfläche als auch im Werkzeugvolumen). Je höher die Fließspannung des Werkstücks, desto höher ist der werkzeugseitige Aufwand. Höhere Werkzeugfestigkeiten benötigen aufgrund der Sprödhheit des Werkzeugwerkstoffs Stützung durch Armierung. Gleichzeitig sinkt die mögliche geometrische Komplexität des Werkstücks, da filigrane Formelemente zu einer Spannungsüberhöhung führen, die die Werkzeug-Werkstoffbelastung übersteigt.

Das Umformvermögen gibt an, bis zu welchem Umformgrad sich ein Werkstoff plastisch verformen lässt, ohne dass eine Rissbildung einsetzt. Das Umformvermögen ist nicht konstant für einen Werkstoff, sondern hängt ab vom Spannungszustand, der während der Umformung vorherrscht. Bei einer Umformung unter Druckspannung lassen sich deutlich höhere Umformgrade erreichen als bei einem von Zugspannung dominierten Umformvorgang. Bei Erhöhung der Temperatur steigt das Umformvermögen ebenfalls (Ausnahme: Blausprödigkeit bei Stahl und Beginn der Ausscheidungsbildung bei Aluminiumlegierungen).

Stahlwerkstoffe

Für die Kaltmassivumformung eignen sich vorzugsweise unlegierte Einsatz- sowie Vergütungsstähle mit einem Kohlenstoffgehalt von bis zu 0,5 % und einem Legierungsbestandteil von max. 5 %. Weitere Begleitelemente wie Schwefel oder Phosphor dürfen nur in geringen Mengen im Werkstoff enthalten sein (max. 0,035 %). Vor dem Kaltumformen ist bei diesen Stählen ein Weichglühen notwendig. Hierbei handelt es sich um eine Wärmebehandlung bei einer Temperatur dicht unterhalb A_{C1} mit anschließendem langsamen Abküh-

len zum Erzielen einer möglichst niedrigen Härte.

Eine besondere Form des Weichglühens ist das Glühen auf kugeligen Zementit (GKZ). Es ist verbunden mit längeren Haltezeiten bei Temperaturen, die unter oder um A_{C1} liegen. Insbesondere bei Stählen mit Kohlenstoffgehalten über 0,5 % und Werkzeugstählen ist es notwendig, das Gefüge in kugelige Karbide in ferritischer Matrix zu überführen. Bei dieser Behandlung sinkt einerseits die Fließspannung, andererseits erhöht sich das Umformvermögen, was insgesamt die Umformbarkeit verbessert.

Die Rekristallisationsglühung, die zwischen einzelnen Stufen der Kaltmassivumformung durchgeführt wird, wenn das Umformvermögen des Werkstoffs erschöpft ist, ist eine Kurzzeitglühung unterhalb des A_{C1} -Punktes ohne Phasenumwandlung. Durch Kornneubildung an Keimen und dem folgenden Wachstum von versetzungsarmen Kristalliten wird die in Folge von Kaltmassivumformung eingetretene Verfestigung vollständig rückgängig gemacht. Bei richtiger Abstimmung von Umformgraden und Glühtemperatur wird durch die Rekristallisationsglühung ein feinkörniges Gefüge eingestellt. Dies weist eine höhere Festigkeit und Zähigkeit als ein grobkörniges Gefüge auf.

Neuere Entwicklungen bei den Stählen für die Kaltmassivumformung beinhalten niedrig legierte Borstähle, die im gewalzten Zustand ein gutes Umformvermögen zeigen, durch die geringe Verfestigung keine Zwischenglühung benötigen und beim Härten einen Lanzettmartensit mit optimalem Härte/Duktilitätsverhältnis bilden, so dass kein Anlassen notwendig ist. Dadurch lassen sich einige energieintensive Zwischenschritte einsparen und die gesamte Prozesskette gestaltet sich entsprechend rationeller. Falls nötig, lassen sich diese Stähle aber auch Einsatzhärten [9]. Des Weiteren werden Maraging-Stahlgüten angeboten, die bei der Kaltmassivumformung eine geringe Verfestigung aufweisen aber durch

eine Aushärtebehandlung Festigkeiten bis 2000 MPa erreichen können [10]. Die gegebenenfalls höheren Werkstoffkosten müssen aber immer mit den Einsparungen in der Prozesskette oder mit den verbesserten Bauteileigenschaften in Relation gesetzt werden.

Nichteisenmetalle

Die Verwendung von Nichteisenmetallen hat, gemessen an der von Stahl, einen wesentlich geringeren Umfang. Technische Bedeutung haben in der Kaltmassivumformung Aluminium- sowie Kupferlegierungen. Die Bedingungen, unter denen die Umformung dieser Nichteisenmetalle erfolgt, unterscheiden sich von denen bei der Umformung des Stahls u. a. durch die Höhe der Umformtemperatur und die Umformwiderstände sowie durch die Reibungs- und Verschleißproblematiken.

Maschinen und Werkzeuge



Bild 3: Stadienfolge zur Herstellung eines hohlen Kaltfließpressteils mit Verzahnung

Aus Gründen des Stoffflusses und zur Verteilung der extremen Werkzeugbelastungen ist in vielen Fällen ein mehrstufiges Umformen erforderlich (Bild 3). Die hohen Fließspannungen und die mit dem Umformgrad zunehmende Werkstoffverfestigung bedingen sehr hohe Presskräfte und stellen höchste Anforderungen an die eingesetzten Umformwerkzeuge und die verwendeten Umformanlagen.

Ausgehend vom Stangenabschnitt oder durch Fertigung vom Draht werden Teile im Gewichtsbereich von wenigen Gramm bis ca. 30 kg hergestellt. Als Pressentypen kommen mechanische und hydraulische Aggregate zum Einsatz. Die Anlagen können stehend oder liegend ausgeführt sein. Abhängig von den zu pressenden Stückzahlen werden diese Einrichtungen manu-

ell oder voll automatisiert betrieben. Der Teiletransport bei automatisierten Anlagen kann sowohl durch Hubballen- und Greifertransportsysteme als auch durch Roboter erfolgen. Bild 4 zeigt ein dreistufiges Umformwerkzeug zur Herstellung von Getriebewellen. Die verschiedenen Werkzeug-Einzelteile sind farblich gekennzeichnet.

Die hohen Kontaktspannungen zwischen Werkzeug und Werkstück können zu einem frühzeitigen Verschleiß, aber auch zu einem Bruch der Werkzeuge führen. Um den Verschleiß zu minimieren werden Werkstoffe mit hoher Festigkeit bis hin zu Hartmetallen und Keramiken als Matrizeneinsätze verwendet. Da diese spröden Werkstoffe aber unter Zugspannungen besonders bruchempfindlich sind, müssen sie durch entsprechende

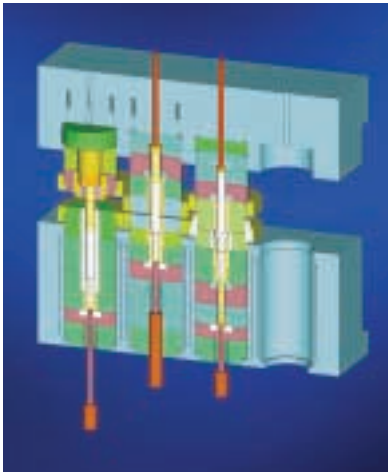


Bild 4: Dreistufiges Umformwerkzeug zur Herstellung von Getriebewellen

Armierungen so vorgespannt werden, dass Zugspannungen vermieden oder minimiert werden. Zum Vorspannen werden die Matrizeinsätze entweder kalt in einen Armierungsring eingepresst oder aber thermisch eingeschrumpft. In Bild 5 ist der Armierungsverband eines Umformwerkzeugs zum Formen des Bundes einer Getriebewelle, bestehend aus äußerer Armierung, innerer Armierung und Matrizenkern dargestellt. Neben der Armierungstechnik kann dem Bruch der Werkzeuge noch durch Teilung der Matrizeinsätze an Hohlkehlen oder an bruchgefährdeten Stellen entgegen gewirkt werden.

Neben einer speziellen Werkzeugtechnologie erfordern die hohen Druckspannungen auch besondere Maßnahmen, durch die eine Kaltverschweißung zwischen Werkzeug und Werkstück verhindert wird. Dies erfolgt

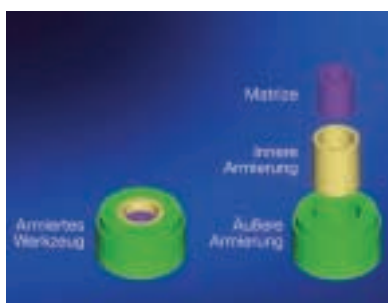


Bild 5: Armierungsverband eines Kaltumformwerkzeugs

durch das Aufbringen einer Träger- und Trockenschmierstoffschicht auf die Werkstücke, die den hohen Normalspannungen eine ausreichende Druckbeständigkeit wirksam entgegenbringt und die trotz Oberflächenvergrößerung während der Kaltumformung wirksam den metallischen Kontakt zwischen Werkstück und Werkzeug verhindert. Um das Haften der Gleitmittel zu verbessern, werden die Bauteile meist mit einer Zinkphosphat-schicht überzogen. Als druckbeständige feste Gleitmittel werden Graphit, Molybdändisulfid, spezielle Seifen oder Wachse eingesetzt. Bei einer folgenden spanenden Bearbeitung der Werkstücke wirken sich die auf dem Kaltmassivumformteil befindlichen Schmierstoffe nicht negativ auf den Kühlschmierstoffkreislauf der Werkzeugmaschine aus. Für spezielle Anforderungen kann das Kaltmassivumformwerkstück aber nach der Umformung gewaschen werden.

massivumformen eingeschränkt. Es lassen sich aber sehr enge Toleranzen erreichen.

Bei kaltmassivumgeformten Bauteilen wird üblicherweise ein Bearbeitungsaufmaß von 0,2 mm bis 0,75 mm je Seite vorgesehen. Es lassen sich aber auch Funktionsflächen einbaufertig herstellen. Werden enge Toleranzen an bestimmten Flächen vereinbart, müssen auch Bereiche am Bauteil festgelegt werden, in denen die Masseschwankungen, die beim Scheren, aber auch beim Sägen des Vormaterials entstehen, aufgenommen werden können. Das können freie Materialüberläufe oder entsprechende Abmessungstoleranzen an weniger wichtigen Flächen sein. Dies gilt insbesondere wenn mit geschlossenen Werkzeugen gearbeitet wird.

Die erreichbaren Toleranzklassen beim Kaltumformen liegen im allgemeinen zwischen IT 7 und IT 11. Diese Maße sind aber immer werkzeuggebundene Maße. Zwischen Ober- und Unterwerkzeug kann ein Werkzeugversatz ebenso zu Rundlaufabweichungen oberhalb der genannten Toleranzklassen führen, wie ein Massenausgleich in der Länge die Toleranzklasse erweitert. Da beim Kaltmassivumformen keine Verzunderung der Werkstücke eintritt, können Oberflächen-güten von $R_z=12$ bis $20\ \mu\text{m}$ erreicht werden. Je nach den herrschenden Kontaktspannungen und dem Zustand der Werkzeugoberflächen sind noch bessere Oberflächenqualitäten erreichbar.

Formgebung und Toleranzen

Durch Kaltmassivumformung lassen sich überwiegend rotations- und achsensymmetrische Bauteile herstellen. Seltener werden Nebenformelemente durch Querfließpressen hergestellt. Durch die hohen Fließspannungen bei Raumtemperatur und die dadurch entstehenden hohen Werkzeugbelastungen ist die Formenvielfalt gegenüber dem Warm-

Teilespektrum der Kaltmassivumformung

Kaltfließpressteile mit kurzer Längsachse

Rotationssymmetrische Bauteile in gedrungener Form sind klassische Kaltfließpressteile. Dabei kann es sich z. B. um Kugel- oder Axialgehäuse handeln, die im Fahrwerks- und Lenkungsbereich von Fahrzeugen benötigt werden. Neuere Entwicklungen bei dieser Bauteilfamilie führen zu nicht rotationssymmetrischen Geometrien in Teilbereichen wie z. B. Schlüsselflächen oder Luftleitnuten (Bild 6). Auch Nebenformelemente wie Nocken- und Zahnprofile erhöhen die Komplexität dieser Teilefamilie.

Kurze Hohlteile werden mit oder ohne Boden ausgeführt, teilweise können extreme Wanddickenunterschiede auftreten.

Eine besonders anspruchsvolle Teilegruppe sind spiegel- und asymmetrische Formen, bei denen die Asymmetrie teilweise durch gezielte Volumerverteilung oder durch Stanz-

operationen erzeugt wird (Bild 7). Bei diesen Bauteilen ist die Form der Funktion weitgehend angepasst. Materialanhäufungen treten nur dort auf, wo Versteifungen oder Rippen erforderlich sind, Aussparungen und Verjüngungen sparen Gewicht oder erleichtern die Montage.

Getriebewellen

Ausgehend von einem gescherten bzw. gesägten Rohling werden Antriebskegelräder sowie Getriebewellen im Allgemeinen in drei bis vier Stufen umgeformt. Das Spektrum umfasst Wellen mit unterschiedlichen

Kopfformen sowie verschieden abgestuften Schäften und Wellen mit Hinterschnitten (Bild 8). Der zweite Pressbund bei den Hinterschnittwellen wird in einem speziellen, radial schließenden Werkzeug in der letzten Umformstufe gepresst. Die stehende Prozessführung ermöglicht dabei eine gratlose Fertigung mit engsten Rundlauf toleranzen und belastungsgerechtem Faserverlauf. Zur Erleichte-



Bild 8: Kaltfließgepresste Getriebewellen



Bild 6: Kaltfließpressteile mit kurzer Längsachse

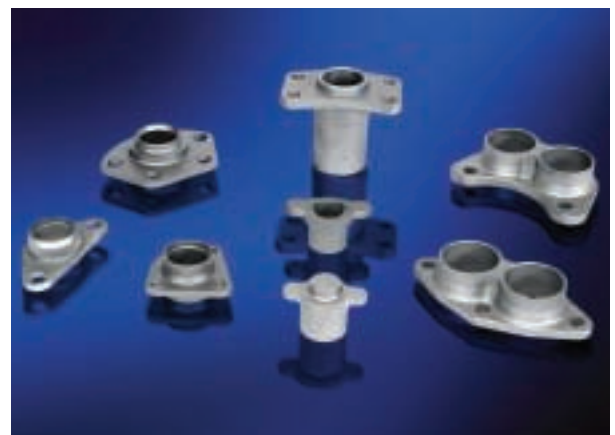


Bild 7: Asymmetrische Hohlteile



Bild 9: Durch Kaltmassivumformung hergestellte Hohlteile mit langer Längsachse (teilweise geschnitten)



Bild 10: Durch Kaltmassivumformung hergestellte Getriebeteile mit Verzahnungen

Die nachfolgenden spanenden Arbeitsgänge können verschiedenartige Zentren in die Wellenenden mit angepresst werden. Diese können auch beidseitig eingebracht werden.

Hohlteile

Auch Hohlteile lassen sich vorteilhaft durch Kaltmassivumformung herstellen. Im Bild 9 sind drei unterschiedliche wellenförmige Hohlteile gezeigt. Die obere Welle wird ausgehend von einem Scherling fließgepresst und genapft. Anschließend wird durch mehrfaches Abstreckgleitziehen die tiefe Hohlform erzeugt. Durch die sehr hohe Umformung ist nach jedem Abstreckvorgang ein Rekristallisationsglühen notwendig, was das Verfahren allerdings sehr aufwändig macht. Die mittlere Welle wird in zwei Hälften durch Napfrückwärtsfließpressen und Reduzieren hergestellt. Anschließend werden die bei-

den Hälften durch Reibschweißen miteinander gefügt. Die untere Welle wird ausgehend von einem Rohrstück durch mehrfaches Hohlvorwärtsfließpressen und Kopfstauchen umgeformt.

Verzahnte Bauteile

Die Bilder 10 und 11 zeigen Bauteile mit einbaufertig gepressten Verzahnungen. Es sind sowohl Steck- als auch Laufverzahnungen umformtechnisch herstellbar. Allerdings sind die Ansprüche an Laufverzahnungen bei Getrieberädern so hoch, dass meist eine Hartbearbeitung notwendig ist. Alle in den Bildern 10 und 11 dargestellten Verzahnungen sind durch Fließpressen hergestellt. Dabei sind die Verfahren des Vorwärts-, Rückwärts- oder des Querfließpressens zur Anwendung gekommen. Die Wahl des Verfahrens, als auch die Lage der Verzahnung (innen / außen) bestimmt

wesentlich die erreichbaren Toleranzen, da sich sowohl der Stofffluss als auch die Verformung von Werkzeug und Werkstück während und nach dem Umformprozess grundlegend unterschiedlich verhalten.



Bild 11: Kaltumgeformtes Kegelrad mit Innen- und Außenverzahnung

Halbwarmumformung

Unter der Bezeichnung „Halbwarmumformung“ versteht man in der Theorie einen Umformvorgang, vor dem das Werkstück soweit angewärmt wird, dass die Fließspannung insgesamt deutlich abgesenkt wird, aber immer noch eine bleibende Verfestigung eintritt. Diese Definition bedeutet, dass die Umformung unterhalb der Rekristallisationstemperatur durchgeführt wird. In der Praxis wird der Begriff „halbwarm“ auch für Temperaturen angewendet, die über die-

trum herauskristallisiert. Das Ziel der Halbwarmumformung ist, die Vorteile des Kaltfließpressens mit denen der Warmmassivumformung zu verbinden. Durch die erweiterten Formgebungsmöglichkeiten gegenüber der Kaltmassivumformung einerseits sowie durch die höheren Genauigkeiten gegenüber den Warmumformverfahren andererseits lässt sich das Teilespektrum der Halbwarmumformung wie folgt definieren: Vorwiegend rotationssymmetrische Bauteile, ähnlich



Bild 12: Durch Halbwarmumformung hergestellte Mittelenwelle

den Kaltfließpressteilen, aber aus höherlegierten Werkstoffen, die nicht oder nur eingeschränkt kaltumformbar sind. Daneben können aber auch Bauteile, die bisher durch Kaltfließpressen hergestellt wurden und die Zwischenglühoperationen benötigten, bei einer gewissen Toleranzaufweitung durch Halbwarmumformung rationeller hergestellt werden.

Da die Fließspannung im erwähnten Temperaturbereich immer noch etwa zwei- bis dreimal so hoch ist wie bei üblichen Warm-

umformtemperaturen, ist die Werkzeugbeanspruchung ebenfalls entsprechend höher. Das bedeutet, dass die Werkzeugtechnik sich ebenfalls an der der Kaltumformung orientieren muss: Die Werkzeuge müssen vorgespannt sein und an Hohlkehlen und bruchgefährdeten Stellen geteilt werden. Auch hieraus ergibt sich, dass das Formenspektrum dem des Kaltfließpressens ähnlicher ist als dem der Warmmassivumformung.

umformtemperaturen, ist die Werkzeugbeanspruchung ebenfalls entsprechend höher. Das bedeutet, dass die Werkzeugtechnik sich ebenfalls an der der Kaltumformung orientieren muss: Die Werkzeuge müssen vorgespannt sein und an Hohlkehlen und bruchgefährdeten Stellen geteilt werden. Auch hieraus ergibt sich, dass das Formenspektrum dem des Kaltfließpressens ähnlicher ist als dem der Warmmassivumformung.

Das Bild 12 zeigt eine durch Halbwarmumformung hergestellte Mittenwelle aus SAE 8620 H.

Weiter müssen, um den Prozess zu beherrschen, für die Schmierung besondere Vorkehrungen getroffen werden. Hierbei hat sich eine Kombination von Werkzeug- und Werkstückschmierung durchgesetzt. Die Werkzeuge werden, je nach Schwierigkeit des Umformprozesses, mit graphithaltigen Öl- oder Wassersuspensionen besprüht. Das bedeutet, dass die Werkzeugtechnik sowohl die Zufuhr als auch den Abfluss dieser Schmiermittel berücksichtigen muss. Daneben werden üblicherweise aber auch die Abschnitte noch graphitiert, was einen zusätzlichen Oxidationsschutz während der Erwärmung ergibt.

Eine Wärmebehandlung vor der Umformung, wie sie beim Kaltfließpressen üblich ist, benötigt die Halbwarmumformung, wie sie in der Praxis durchgeführt wird, im Allgemeinen nicht. Ob eine Schlussbehandlung notwendig ist, ist vom weiteren Einsatzgebiet sowie vom Werkstoff abhängig: Dadurch, dass sich die Umformung im Rekristallisationsgebiet und eventuell auch im Phasenumwandlungsgebiet abspielt, müssen Ausgangsgefüge, Umformtemperatur und Abkühlgeschwindigkeit aufeinander abgestimmt sein. Auf eine Schlusswärmebehandlung kann verzichtet werden, wenn eine definierte Endfestigkeit bzw. ein definiertes Gefüge erreicht wird.

Wie aus den vorstehenden Abschnitten ersichtlich, hat jedes der verschiedenen Umformverfahren spezifische Eigenschaften. Da die Präzisionsumformung von Stahl eine immer größere Bedeutung erlangt, insbesondere für den Automobilssektor, ist die Weiterentwicklung der Herstellungsverfahren Kalt- und Halbwarmumformung sowie deren Kombinationen von größter Bedeutung. Insbesondere die Kombination verschiedener Umformverfahren zur Nutzung der jeweiligen Technologiepotenziale, wie z. B. das hohe Umformvermögen bei der Halbwarmumformung und die hohe Genauigkeit der Kaltmassivumformung, hat sich in jüngster Vergangenheit stark entwickelt.

Verfahrenskombination: Halbwarm- und Kaltmassivumformung

sen mindestens einmal eine Zwischenglühoperation eingeschaltet werden muss. Die Prozessfolge entspricht im Wesentlichen einer Aneinanderreihung der Prozessschritte. Nach der Halbwarmumformung müssen die Werkstücke lediglich gestrahlt und erneut beschichtet werden.



Bild 13: Durch die Kombination aus Halbwarm- und Kaltmassivumformung hergestellte Tripodenwelle

Durch eine Kombination vom Halbwarm- mit dem Kaltmassivumformen lassen sich immer dann wirtschaftlich Werkstücke herstellen, wenn zum Einen bestimmte Maße mit einer hohen Genauigkeit hergestellt werden müssen, zum Andern aber die Umformung so groß ist, dass beim Kaltpres-

Die im Bild 13 abgebildeten Tripodenwellen für Gleichlauf-Schiebegeelenke sind aus dem Werkstoff Cf 53, der nur begrenzt kalt umformbar ist, gefertigt. Nach einer Halbwarmumformung werden die Rohlinge beschichtet und kalt abgestreckt. So lassen sich Rollenlaufbahnbreiten in der In-

nenkontur herstellen, die eine Toleranz von $\pm 0,03$ mm aufweisen, so dass innen keine spanende Nacharbeit mehr nötig ist. Nach dem Induktionshärten müssen diese hoch präzisen Bauteile eine Laufbahntoleranz von $\pm 0,05$ mm aufweisen. Eventuelle Härteverzüge werden bereits vorgehalten.

Auch das in Bild 14 dargestellte Gelenkwellenteil wird aus dem induktivhärtenden Stahl Cf 53 hergestellt. Gleichzeitig werden aber sehr hohe Anforderungen an die Maß- und Formtoleranzen gestellt, um die sehr aufwändige spanende Endbearbeitung in den Laufbahnen zu beschränken. Da diese Toleranzen durch eine Warmmassivumformung nicht erreichbar sind und der Umformgrad für eine reine Kaltmassivumformung viel zu groß ist, werden diese Bauteile durch eine Kombination von Halbwarmfließpressen und anschließendem Kaltkalibrieren hergestellt. Während der Halbwarmoperationen wird der Zapfen mit einer Durchmesser-toleranz von 0,3 mm in mehreren Stufen bei ca. 850 °C umgeformt. Die Durchmesser der kaltgepressten Kugellaufbahnen auf der Innenseite der Gelenkwellen erreichen eine Genauigkeit von $\pm 0,1$ mm. Nach dem Härten müssen die Kugellaufbahnen nur noch auf Fertigmaß bearbeitet werden.

Die Kaltmassivumformung ist für ein weites Spektrum an Bauteilen, für große Stückzahlen und für einen breiten Bereich an Stückgewichten geeignet. Kaltmassivumgeformte Werk-

formter Werkstücke erreicht werden können, die neue Anwendungsfelder in Richtung Leichtbauanwendungen auch unter Verwendung der bewährten Eigenschaften der eisenbasierten Werkstoffe ermöglichen.

Andererseits werden durch besondere Maßnahmen erreichbare, genauere Toleranzen und neue

Entwicklungstendenzen

Werkstoffe sind den durch Wettbewerbsverfahren hergestellten Werkstücken hinsichtlich ihrer Eigenschaften deutlich überlegen. Viele Werkstoffe können durch Kaltmassivumformung verarbeitet werden. Durch Massenfertigung mit eindeutig festgelegten beherrschbaren Prozessschritten lässt sich ein konstantes hohes Qualitätsniveau halten. Mechanisierungen und Automationen ermöglichen kostengünstige Bauteile, die bei Großserien durch entsprechende Sondermaßnahmen eine hohe Präzision mit geringster spanender Nacharbeit ermöglichen.

Die zukünftigen Entwicklungen werden einerseits bei neuen Werkstoffentwicklungen ansetzen, mit denen Eigenschaften kaltmassivumge-

Werkstoffe die Optimierung der gesamten Prozesskette (Vormaterial – Umformung – Wärmebehandlung – Zerspanung – Oberflächenbehandlung) ermöglichen. Diese Entwicklungen beinhalten höherwertige und aufgrund des höheren Aufwandes höherpreisige kaltmassivumgeformte Bauteile, führen aber bei entsprechenden Einsparungen in den folgenden Prozessschritten zu einer hochwirtschaftlichen Prozesskette.

Schließlich wird die Kaltmassivumformung sich in Richtung der Erzeugung weiterer Funktionselemente (z. B. Verzahnungen) bewegen, wodurch es möglich wird, das fertige Bauteil wirtschaftlicher herzustellen.



Bild 14: Durch die Kombination von Halbwarmfließpressen und Kaltkalibrieren hergestelltes Gelenkwellenteil (links Rohteil, rechts fertig bearbeitet)

Bildquellen

Bild 1:	Industrieverband Massivumformung e. V.
Bild 3:	A. u. E. Keller GmbH & Co.
Bilder 6, 7:	Dold Kaltfließpressteile GmbH
Bild 11:	Metaldyne Holzer
Alle anderen Bilder:	Hirschvogel Umformtechnik GmbH

Literatur

- [1] Feldmann, H.-D.:
Fließpressen von Stahl, Merkblatt 201,
Beratungsstelle für Stahlverwendung,
Düsseldorf 1983
- [2] Singer, F.:
Verfahren zur Vorbehandlung von Eisen- und Stahl-
werkstücken für die spanlose Formgebung, z. B. das
Ziehen, Strecken und Walzen,
Reichspatentamt Patenschrift
Nr. 673405, 10. Juni 1934
- [3] Lange, K. (Hrsg.):
Umformtechnik, Band 2,
Springer, 1988
- [4] Landgrebe, D. u. a. :
Massivumformtechniken für die Fahrzeugindustrie;
Verfahren, Werkstoffe und Entwicklung,
Verlag moderne Industrie, 2001
- [5] N.N.: VDI-Richtlinie 3138 Blatt 1,
Kaltmassivumformen von Stählen und NE-Metallen –
Grundlagen für das Kaltfließpressen,
Beuth Verlag, 1998
- [6] Gottstein, G.:
Physikalische Grundlagen der Materialkunde,
Springer, 1998
- [7] Raedt, H.-W.:
Grundlagen für das schmiermittelreduzierte Tribo-
system bei der Kaltumformung des Einsatzstahles
16MnCr5,
Dissertation RWTH Aachen 2002
- [8] Goldstein, M.:
Optimierung der Fertigungsfolge
"Kaltfließpressen – Spanen" durch Hartdrehen als
Feinbearbeitungsverfahren für einsatzgehärtete
Pressteile,
Dissertation RWTH Aachen 1991
- [9] Ollilainen, V., Hocksell, E.:
New Low-Carbon Steel for Hot, Warm, or Cold
Forging,
Advanced Engineering Materials 2000, 2, No. 5
- [10] Weber, H.R.:
Ein neuer martensitaushärtender Band-Federstahl
für komplexe Geometrien,
VDI-Z 143 (2001),
Nr. 5 - Mai

Infostelle

Industrieverband
Massivumformung e. V.

Goldene Pforte 1
58093 Hagen, Deutschland
Telefon +49 (0) 23 31 / 95 88 28
Telefax +49 (0) 23 31 / 95 87 28

E-Mail: orders@metalform.de

Weitere Informationen unter:
www.metalform.de

ISBN 3-928726-18-8

Den Veröffentlichungen
der **Infostelle**
liegen die Ergebnisse
der Gemeinschaftsforschung
der im Industrieverband
Massivumformung e. V.
zusammengeschlossenen
Industriewerke zugrunde.

Stand: Dezember 2003
EI - KM - 1203 - 30 DOM