

# Massivumformung – Bauteile ressourceneffizient herstellen

Die Herstellung massivumgeformter Teile gilt als sehr energieintensiv. Das passt nicht mehr in diese Zeit. Deshalb sind Hersteller, wie beispielsweise die Hirschvogel Automotive Group, stets damit befasst, die Ressourceneffizienz unter Betrachtung von Emission, Energiebilanz und nachhaltigem Wirtschaften zu optimieren.

HANS-WILLI RAEDT



**Bild 1: Der Automobilbau ist eine der wichtigsten Zielgruppen für massivumgeformte Bauteile – seien es kalt- oder warmumgeformte Teile.**

Bild: Hirschvogel

Die Massivumformung (Bild 1) ist die umformende Fertigungstechnologie, die Draht- oder Stangenmaterial als Eingangswerkstoff verarbeitet. Sie grenzt sich dadurch von der Blechumformung ab. Eine andere Unterscheidung kann auf der Basis des wirkenden Verformungszustandes getroffen werden. Bei der Massivumformung wird in der Regel ein dreidimensionaler Verformungszustand erreicht, bei der Blechumformung beschränkt sich dieser weitgehend auf die zweidimensionale Blechebene (Bild 2).

## Massivumformung lässt sich nach verschiedenen Kriterien unterteilen

Die Massivumformung kann wiederum nach verschiedensten Kriterien unterteilt werden. Die Unterteilung nach der Umformtemperatur kann dabei als die prozess- und fertigungstechnisch bedeutendste angesehen werden (Bild 3). Sie bestimmt einerseits, welche Möglichkeiten der Formgebung bestehen, da das Umformvermögen (die Verformbarkeit bis zum Bruch) von Werkstoffen wesentlich mit steigender Temperatur zunimmt. Des Weiteren sinkt die Fließspannung, sodass kompliziertere Geometrien bei höherer Temperatur umgeformt werden können, ohne dass im Werkzeug Spannungen entstehen, die zum Werkzeugbruch führen. Die Halbwarmumformung stellt zwischen der Kalt- und der Warmumformung einen Kompromiss dar und hat inzwischen einen bedeutenden Platz in der Massivumformung eingenommen. Bei einem gegebenen Warmumformprozess kann durch ge-

Dr.-Ing. Hans-Willi Raedt ist Vice President Advanced Engineering bei der Hirschvogel Automotive Group in 86920 Denklingen, Tel. (0 82 34) 2 91-1 11, hans-willi.raedt@hirschvogel.de

schickte Auslegung der Stadienfolge das für die Ausformung des Bauteils notwendige Einsatzmaterial reduziert werden. So ist beispielsweise bei vielen Warm Schmiedevorgängen im Gesenk technologiebedingt die Ausformung eines Grades notwendig. Dabei bewegt sich zu Beginn des Umformvorganges während der Stauchphase Werkstoff aus dem Röhling lateral und axial in einen Bereich außerhalb der Formkontur des Gesenks. Dieser Werkstoff wird bei Fortschreiten der Umformung weiter aufgestaucht, erzeugt einen Gegendruck innerhalb des Gesenks und ermöglicht damit das Steigen des Werkstoffs auch in hohe und tiefe Gesenkbereiche. Der Werkstoff außerhalb der Formkontur wird typischerweise als Grat ausgeschmiedet (Bild 4). Durch eine geschickte Gestaltung der Stadienfolge kann nun in einer oder mehreren Vorstufen der Werkstoff so vorverteilt werden, dass in der Fertigstufe weniger Grat erzeugt wird. Entsprechend weniger Werkstoff muß abgratet werden, damit sinkt auch das Einsatzgewicht des Rohlings. Die einfachste Form dieser Werkstoffeinsparung kann auch schon ohne besondere Werkzeugtechnologien erreicht werden, wobei der Einsatz der Stofffluss simulation auf Basis der Finite-Elemente-Methode (FEM) hier die ressourceneinsparende Entwicklung sehr gut unterstützt: Am Bildschirm kann schon in der Konstruktionsphase der Werkstoffeinsatz bewertet und eine fehlerfreie Stadienfolge mit minimalem Werkstoffeinsatz entwickelt werden. Hier hilft zum Beispiel auch die Methode der Rückwärtssimulation: Dabei wird der Stoffflussvorgang mittels der Umform-FEM natürlich konventionell vorwärtsgerichtet simuliert. Anhand der Stoffflussdaten können nun aber im Ergebnis Gratbereiche markiert und rückwärts bis in die Vorform verfolgt werden, sodass eine gezielte Vorformoptimierung stattfinden kann.

An handbedienten Anlagen muss gegen gerechnet werden, ob gegebenenfalls die Erhöhung der Anzahl der Stadien (zur intensiveren Materialvorverteilung), die zu einer Erhöhung der Taktzeit und damit der Maschinenkosten am Produkt führen, durch die Einsparung des Werkstoffs kompensiert wird. Auf automatisierten Anlagen fällt diese Betrachtung in der Regel positiv für die Materialeinsparung aus, solange sich die Werkzeugkosten im Rahmen halten, die Maschine genügend Stufen für die benötigte Umformung bereitstellt und auch alle diese Stufen vollbelegt nicht die Maximalkraft der Maschine überschreiten. Darüber hinaus bestimmt der Technologiestand auch bei weiteren Bauteilen das Verhältnis von Fertig-

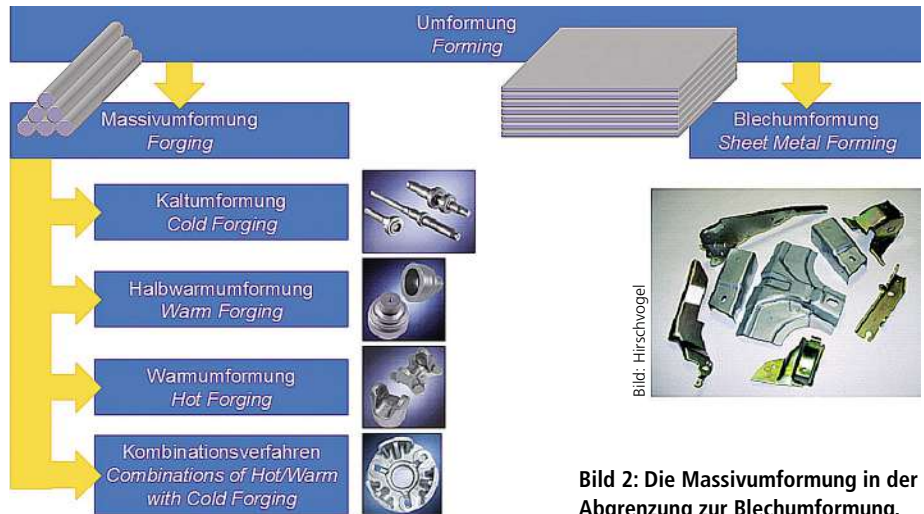


Bild 2: Die Massivumformung in der Abgrenzung zur Blechumformung.

zu Einsatzgewicht. So werden einige Bauteile, je nach herstellender Unternehmung, gratlos oder mit Grat gefertigt (Bild 5). Deshalb finden sich auf dem Markt viele gratlos geschmiedete Radnaben (Bild 5a), aber durchaus auch Bauteile mit Grat, besonders dann, wenn die Außenform nicht rund ist und damit das Werkzeugfüllverhalten nicht ganz einfach ist. Rotationssymmetrische Wellen (Bild 5d) werden in vielen Firmen durch eine Umformung in Richtung der Längsachse durch Kalt- oder Halbwarmumformung hergestellt.

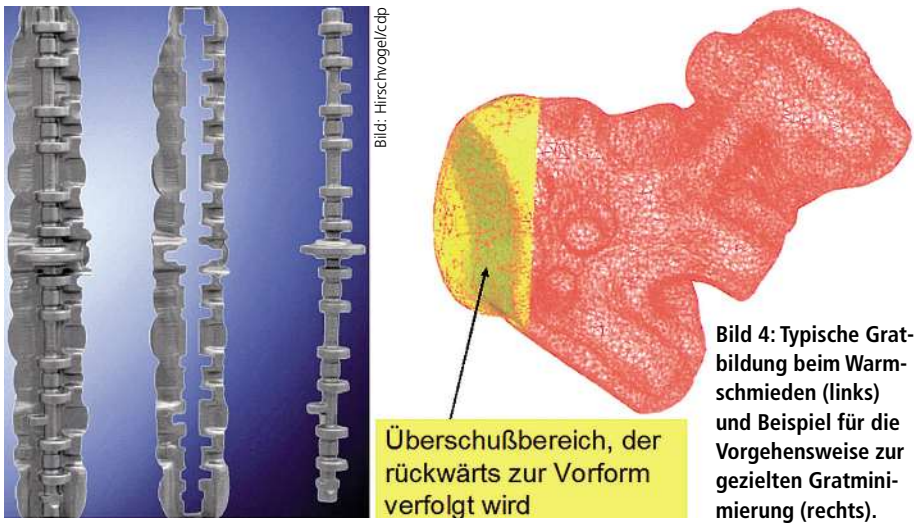
**Umformverfahren ist entscheidend für die optimale Werkstoffausnutzung**

Es sind aber durchaus auch Wellen am Markt, die durch Querwalzen hergestellt werden. Dabei entstehen während des Walzens unförmige Endstücke, die am Ende des Walzvorgangs abgetrennt werden. Zudem weisen quergewalzte Wellen ein größeres Zerspanaufmaß auf, sodass auch aufgrund der notwendigen Zerspannung eine geringere

Werkstoffausnutzung erreicht wird. Des Weiteren werden solche Wellen auch liegend geschmiedet hergestellt. Hierbei entsteht einerseits ein Grat, andererseits sind auch hier die Aufmaße größer als bei der Kaltumformung. Beide Effekte verringern die Effizienz der Werkstoffnutzung. Die Bauteile für die Gleichlaufgelenkwelle (Bild 5b und Bild 5c) können einerseits durch eine Kombination aus Halbwarm- und Kaltumformung mit vollständiger Werkstoffausnutzung hergestellt werden oder aber mit einem kleinen Grat. Letztere Vorgehensweise erfordert eine weniger aufwendige Umform- und Werkzeugtechnik wie auch eine geringere Volumenkonstanz der Abschnitte und ist deshalb als technologisch weniger entwickelt anzusehen. Rohlinge für das Festgelenk (Bild 5b) werden auch gerne als rein rotationssymmetrisches Bauteil ohne Innenkontur umgeformt, die dann zerspanend eingebracht wird. Auch hier verringert sich die Werkstoffausnutzung über die ganze Prozesskette. Schließlich gibt es noch Bauteile, die zwar



Bild 3: Abgrenzung von Kalt-, Halbwarm- und Warmumformung.



**Bild 4: Typische Gratbildung beim Warm Schmieden (links) und Beispiel für die Vorgehensweise zur gezielten Gratminimierung (rechts).**

umformtechnisch auf ein Produkt mit geringerem Werkstoffeinsatz umgestellt werden können. Hierbei muß sich aber die zerspanende Weiterbearbeitung umstellen, um mit dieser umformtechnischen Weiterentwicklung zurechtzukommen. Als Beispiel dient ein Tellerrad, in dem schon beim Warm Schmieden eine Verzahnung eingebracht wird. Diese Entwicklung zielt ausdrücklich nicht darauf ab, eine Verzahnung zu schmieden, die direkt in den Härteprozess eingebracht werden kann. Es ist gedacht, dass diese vorgeschmiedete Verzahnung noch den üblichen Weichverzahnungsprozess durchläuft, damit die Einsatzhärtung und vor allem die Hartbearbeitung auf bekannten Bedingungen aufsetzen können. Bei der Weichbearbeitung der Verzahnung ist allerdings deutlich weniger Werkstoff zu zerspanen, als beim üblichen rotationssymmetrischen Umformrohling ohne vorgeformte Verzahnung, der heute in einem Gesenkschmiede- oder Ringwalzprozess hergestellt wird. Damit steigt die Werkstoffeffizienz der Gesamtkette. Aus wirtschaftlicher Sicht kann noch erwähnt werden, dass je nach Typus des Weichbearbeitungsverfahrens die Zerspanhauptzeit deutlich reduziert werden kann. Zudem sinkt der Verschleiß pro weichbear-

beitetem Bauteil, da das zu zerspanende Volumen ja abnimmt.

Abschließend kann also festgehalten werden, dass eine fortschrittliche Umformtechnologie die Erhöhung der Werkstoffeffizienz in der Umformung und gegebenenfalls folgenden Bearbeitung ermöglicht. Bei Vorhandensein der technologischen Kompetenz ist aber wiederum immer die Gesamtkostenlage das ausschlaggebende Kriterium für die Auswahl der Prozesskette, welches nicht immer die Fertigungsfolge mit der besten Werkstoffeffizienz sein muss.

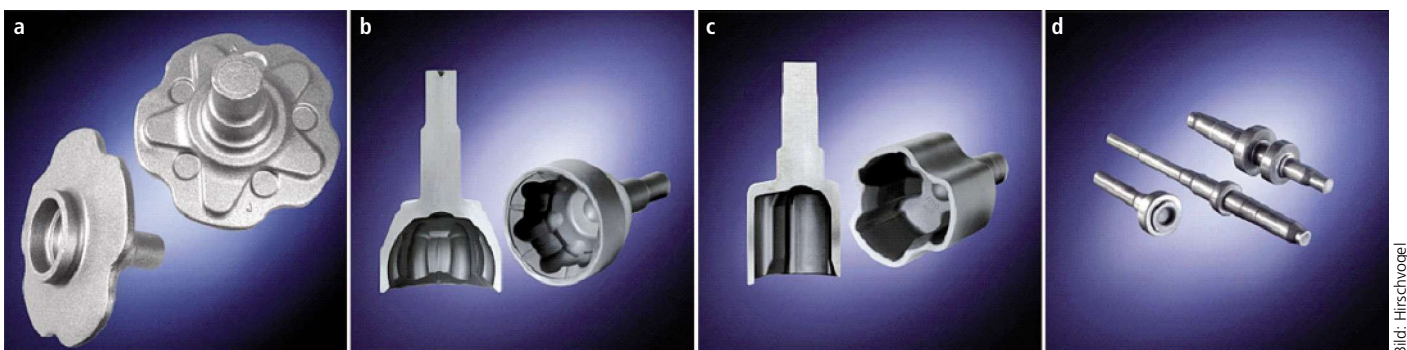
**Im Werkstoff versteckt befindet sich die Ressource Energie**

Bei der Betrachtung der Werkstoffeffizienz kann natürlich als abschwächendes Gegenargument die Recyclingmöglichkeit von Stahl und Aluminium genannt werden. Allerdings erzeugt auch das Recycling Aufwände durch Handling, Transport und nicht zuletzt Energieverbräuche, sodass grundsätzlich möglichst werkstoffeffizient gearbeitet werden sollte. Im Werkstoff versteckt befindet sich die Ressource Energie, die bei der Werkstoffherzeugung verbraucht wird. Aus diesem Grund muß bei Betrachtung der energetischen Ressourceneffizienz immer

auch die Werkstoffeffizienz betrachtet werden.

Wie alle Fertigungsprozesse benötigen die Massivumformprozesse den Einsatz von Energie. Der einfache Schluss, dass die Abschnitte in der Kaltumformung nicht erhitzt werden müssen und deshalb die Kaltumformung der energieeffizienteste Umformvorgang sei, kann so einfach aber nicht gezogen werden. Die Prozessketten der jeweiligen Massivumformvorgänge müssen hier vollständig bilanziert werden, um zutreffende Aussagen zu erhalten. Nicht zuletzt muss auch die Werkstoffeffizienz betrachtet werden, da die zur Stahlherstellung verwendete Energie in diese Gesamtbilanz einbezogen werden muss.

Zu Beginn ist es also notwendig, die typischen Prozessketten der Kalt-, Halbwarm- und Warmumformung darzustellen und die in jeder Prozessstufe eingesetzte Energie zu betrachten. Bild 6 gibt eine Übersicht über die Prozessketten und den Energieeinsatz der einzelnen Prozessschritte. Hierbei sind die eingeklammerten Vorgänge von der Kundenspezifikation und vom Werkstoff abhängig. So bilden Einsatzstähle bei der Abkühlung aus der Warm- oder Halbwarmumformwärme ein zum Teil bainitisches Gefüge aus, welches in der Regel für die Zerspanung unerwünscht ist, weshalb ein Isothermglühen zum Erreichen des ferritisch-perlitischen Zustandes zumeist notwendig ist. Einige Kundenvorschriften verlangen nach der Kaltumformung ein Rekristallisations- oder Isothermglühen, andere nicht. Hier sind also zerspanentechnische Forderungen verantwortlich für den Energieeinsatz in der umformenden Prozesskette. Je nach Werkstoff oder Kundenanforderung kann somit eine Halbwarmumformung mit geringerem Energieeinsatz verbunden sein als eine Kaltumformung (der Energieeinsatz zur Erwärmung auf die Halbwarmumformtemperatur ist geringer als die zur Kaltumformung vorbereitende Glühung plus der Rekristallisations- oder Isothermglühung).



**Bild 5: Beispiele für gratlose Bauteile, die aber auch als Bauteile mit Grat anzutreffen sind.**

Ähnliche Betrachtungen können für die Warmumformung angestellt werden. Ein genereller Fingerzeig kann hier also nicht gegeben werden, der Energieeinsatz muss sehr bauteil- und werkstoffspezifisch betrachtet werden und hängt noch von einer Reihe weiterer Randbedingungen ab.

**Der Gesamtenergieverbrauch hängt stark vom Werkstoffeinsatz ab**

Für den Gesamtenergieeinsatz eines Fertigproduktes kann aber noch der typische Energieeinsatz der massivumformenden Prozesskette im Vergleich zur Energie, die im Stahlwerkstoff gebunden ist, gegenübergestellt werden. Für das Produktspektrum der Hirschvogel Automotive Group, welches aus Kalt-, Halbwarm- und Warmprodukten ergibt sich, (nur bezogen auf die Massivumformung, ohne Zerspanung) ein Energieverbrauch von 0,9 MWh/t Fertigerzeugnis. Dies entspricht 3,2 MJ/kg. Für die Herstellung von Rohstahl (Stahl aus Erz, erzeugt im Hochofen) wird ein Wert von 18 MJ/kg angegeben. Für Elektro Stahl (Stahl aus der Schrottroute, erschmolzen im Lichtbogenofen) beträgt der Energieeinsatz 6 MJ/kg. (Der Energiebedarf eines Menschen wird im Übrigen mit etwa 10 MJ pro Tag als Richtwert angegeben, nur um hier einmal die Relationen aufzuzeigen). Daraus kann Folgendes geschlossen werden:

- ▶ Der Gesamtenergieverbrauch für ein Umformfertigprodukt hängt sehr stark davon ab, aus welcher Herstellungsrouten der Stahl kommt.
- ▶ Für die Reduzierung des Gesamtenergieverbrauchs sind damit an erster Stelle nicht Energieverbräuche in der umformenden Fertigung zielführend, sondern eher die Frage, wie mit minimalem Werkstoffeinsatz ein Umformprodukt erzeugt wird.
- ▶ Trotzdem ist die Massivumformung absolut betrachtet in jedem Fall eine energieintensive Branche. Deshalb ist natürlich die Verbesserung der Energieeffizienz immer noch ein vordringliches Thema.
- ▶ Am Beispiel des Umformbereiches der Hirschvogel Automotive Group, Hauptwerk Denckinger, können hier auch Fortschritte attestiert werden. So lag der spezifische Energieeinsatz 1998 um 38 % höher als 2008.

Im Zuge der aktuellen CO<sub>2</sub>-Diskussion (eigentlich den Emissionen zurechenbar, aber auch als Ressource Klima umdeutbar) muß dann aber noch sehr detailliert betrachtet werden, wie der in der Massivumformung eingesetzte elektrische Strom (für die induktive Erwärmung der Rohlinge sowie für die Pressenantriebe) erzeugt wird. Je nach regionalem Strommix können hier unterschied-

Kaltumformung 20°C	Halbwarmumformung 720°C-950°C	Warmumformung 1250°C
Scheren oder Sägen	Scheren oder Sägen	i.d.R. Scheren
(Glühen auf Kaltumformbarkeit)	hier nicht notwendig	hier nicht notwendig
Vorbeschichtung	hier nicht notwendig	hier nicht notwendig
hier nicht notwendig	Vorerwärmen	hier nicht notwendig
hier nicht notwendig	Vorbeschichtung	hier nicht notwendig
hier nicht notwendig	Haupterwärmung	Haupterwärmung
Umformung	Umformung	Umformung
(Glühen)	(Glühen)	(Glühen)
(Strahlen)	Strahlen	Strahlen

**Bild 6: Prozessketten der Massivumformung. Einordnung der Prozessschritte bezüglich Energieeinsatz über Farbabstufung. Hell = gering, mittel = mäßig und dunkel = hoch.**

Bild: Hirschvogel

lichste Klimaverbräuche (CO<sub>2</sub>-Emissionen) bilanziert werden.

Die Erhöhung der Energieeffizienz wird in zahlreichen Projekten in der verarbeitenden Industrie vorangetrieben, so auch in der Massivumformung. In den folgend beschriebenen Themenschwerpunkten wird dieses Ziel angestrebt:

- ▶ Verringerung des Werkstoffeinsatzes;
- ▶ in Bauteilen gespeicherte Prozesswärme sammeln, weiterleiten und in eine nutzbare Energieform verwandeln;
- ▶ Reduzieren der Erwärmergie in Induktionsanlagen durch Einsatz von supraleitenden Werkstoffen für die Induktionsspulen sowie durch die Optimierung (beispielsweise der Leistungselektronik) von klassischen Induktionsanlagen.

Werkstoffe und Energie sind die wichtigsten Ressourcen für die Herstellung von massivumgeformten Komponenten. Zudem sind sie, wie beschrieben, miteinander verknüpft. Weitere Ressourcen, die verbraucht werden, sind:

- ▶ Öle und Fette, die vor allem in der Maschinenschmierung, aber zum Teil auch in der Prozessschmierung eingesetzt werden. Vergleichsweise geringe Mengen gelangen hier als Korrosionsschutz auf umgeformten Bauteilen zum Einsatz.
- ▶ Umformschmierstoffe, die auf unterschiedlichsten Zusammensetzungen beruhen. Im Einzelnen werden hier die Stoffe Graphit, Wasserglas, Silikate, Molybdän (als Disulfid) und viele weitere Chemikalien verbraucht. Hierzu gehören auch die Chemikalienverbräuche, die für das Bondern (Vorbeschichtung zur Kaltumformung) eingesetzt werden.
- ▶ Technische Gase, vor allem Stickstoff für Wärmebehandlungsverfahren;

- ▶ Reinigungsmittel für Bauteile, die nach der Umformung gewaschen werden;
- ▶ Strahlmittel, die beim Reinigungsstrahlen nach der Warm- und Halbwarmumformung oder nach Glühverfahren eingesetzt werden;
- ▶ weitere Betriebsstoffe, wie beispielsweise Wasserentkalker oder Ölbinders;
- ▶ Wasser, welches in zahlreichen Prozessschritten eingesetzt wird. Wasser ist weniger ein Problem aus Sicht der Ressource, sondern vielmehr in Form der Emission: Die Einleitung von erwärmtem Kühlwasser in Flüsse oder Sickerbrunnen ist reglementiert.
- ▶ In typischen Umweltbilanzen wird auch der Verbrauch des Bodens (versiegelte Fläche) als Ressource aufgenommen.

**Außerhalb der Umformtechnik werden weitere Ressourcen benötigt**

Weitere Ressourcen werden außerhalb der eigentlichen Umformtechnik für die Herstellung massivumgeformter Komponenten benötigt. In der Weiterbearbeitung wird wiederum Energie eingesetzt wie auch für weitere Wärmebehandlungsvorgänge. Zerspanwerkzeuge enthalten seltenere Elemente, wie beispielsweise Tantal. Ansätze zur Erhöhung der Ressourceneffizienz dürfen hier nicht nur auf Teile der Prozesskette schauen, sondern müssen für die fertige Komponente die eingesetzten Ressourcen entlang der gesamten Prozesskette bilanzieren, um somit zu tragfähigen Lösungen zu gelangen.

Die Ressourceneffizienz in der Massivumformung hat das Ziel, Massivumformung vollständig nachhaltig zu betreiben. Wird diese Strategie umgesetzt, werden also für sehr lange Zeit alle für die Massivumformung benötigten Ressourcen vorhanden bleiben und nicht durch diese industrielle Tätigkeit verbraucht.