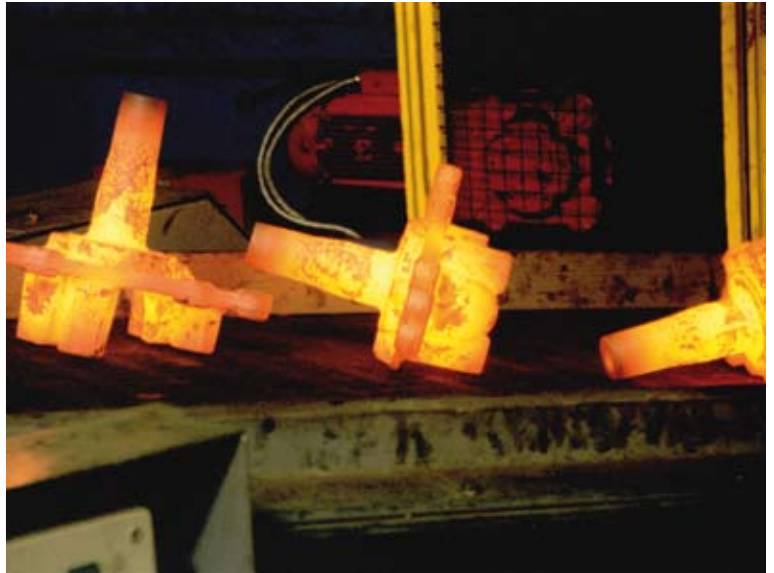


# Robust und wirtschaftlich

## Gängige Massivumformverfahren und typische Eigenschaften von Stahl-Schmiedeteilen

Klaus Vollrath

*Stahl wird beim Massivumformen veredelt und in seinen Eigenschaften auf den jeweiligen Anwendungsfall hin optimiert. Das Schmieden beseitigt innere Schwachstellen, verbessert das Gefüge, homogenisiert den Werkstoff und erzeugt eine belastungsgerechte Faserstruktur. In Verbindung mit einer angepassten Wärmebehandlung verleiht dies geschmiedeten Komponenten überlegene Eigenschaften. Ganz besonders gilt dies bei dynamischer Beanspruchung in Fahrzeugen oder Maschinen.*



Beim Massivumformen wird der Rohling mit Hilfe von Werkzeugen durch hohe Kräfte spanlos umgeformt. Dabei werden eventuell vorhandene Poren geschlossen und Einschlüsse zusammen mit den Kristallen des Gefüges in Fließrichtung des Werkstoffs gestreckt. Schmiedeteile weisen daher häufig eine typische Faserstruktur auf, welche die Belastbarkeit in Faserrichtung erhöht. Durch geeignete Wahl der Umformrichtung kann dieser Faserverlauf gezielt in Richtung der Hauptbeanspruchungsverläufe im Bauteil orientiert werden.

Bei qualitativ einwandfreiem Vormaterial weisen Schmiedeteile daher nach dem Schmieden keine inneren Schwachstellen mehr auf. Dies hat positive Auswirkungen auf die dynamische Belastbarkeit, da Innenfehler eine häufige Ursache von Ermüdungsrissen sind. Aus dem gleichen Grund sind Schmiedeteile auch gasdicht. Darüber hinaus vereinfacht das Fehlen innerer Defekte die Qualitätsprüfung, da man sich auf verhältnismäßig leicht zu erkennende Oberflächenfehler konzentrieren kann.

Je nach Umformtemperatur wird das Gefüge zudem kalt verfestigt oder feinkörnig rekristallisiert. Bei geeigneter Kombination von Legierung und Prozessführung ist die Warmumformung zugleich bereits der erste Schritt einer thermomechanischen Behandlung mit positiven Auswirkungen auf

die Feinkörnigkeit des Gefüges und die mechanischen Eigenschaften. Durch weitere Arbeitsgänge wie z. B. die nach dem Warmumformen übliche Reinigung durch eine Strahlbehandlung können zusätzlich Druckeigenstressungen in der Oberfläche erzeugt werden. Dies bewirkt eine Steigerung der Biegewechselfestigkeit. Vielfach wirken sich die Vorteile des Massivumformprozesses auch noch im weiteren Verlauf

von wenigen Gramm bis zu mehr als 1000 kg reichen kann. Bedingt durch die Kosten für die Werkzeugherstellung eignet sich das Gesenkschmieden besonders für die Serienproduktion, wobei die wirtschaftliche Untergrenze je nach Verfahrensvariante zwischen einigen Dutzend bis zu einigen Hundert Teilen liegen kann. Für das Gesenkschmieden kommen unterschiedliche Pressentypen zum Einsatz – Exzenter- oder

### **Schmiedeteile haben keine inneren Schwachstellen was sich positiv auf ihre dynamische Belastbarkeit auswirkt**

der Prozesskette aus, z. B. durch deutlich verringerte Bearbeitungskosten bei endkonturnah geschmiedeten Bauteilen.

#### **Gesenkschmieden**

Das Gesenkschmieden ist das mit Abstand verbreitetste Verfahren der Massivumformung. Die Formgebung erfolgt ausschließlich im „warmen“ Zustand – bei Stählen rund 1200 °C – mit Hilfe eines zweigeteilten Werkzeugs, des sogenannten Gesenks. Nach dem Einlegen des rotglühenden Rohlings in das geöffnete Gesenk wird dieses maschinell zusammengedrückt. Durch den Druck fließt der Stahl ins Werkzeug und nimmt dabei die gewünschte Geometrie an.

Gesenkschmiedeteile werden in einem breiten Gewichtsspektrum gefertigt, das

Kurbelpressen, hydraulische Pressen, Spindelpressen und Hämmer – deren charakteristische Eigenschaften berücksichtigt werden sollten.

#### **Fließpressen und Stauchen**

Beim Fließpressen erfolgt die Umformung, indem das Werkstück durch eine Öffnung hindurchgedrückt und dadurch geformt wird. Je nach Fließrichtung des Materials in Bezug zur Wirkrichtung der Anlage unterscheidet man hierbei zwischen Vorwärts-, Rückwärts- und Querfließpressen. Oft werden die Verfahren auch miteinander kombiniert. Die meisten Fließpressteile weisen eine runde und symmetrische Geometrie auf, doch lassen sich auch komplizierte und asymmetrische Teile herstellen. Das Verfahren eignet sich sowohl für flache Teile wie

Klaus Vollrath, Redaktionsbüro,  
Aarwangen (CH)

Zahnräder als auch für lange, schlanke Bauteile wie z. B. Wellen.

Da keine Entformungsschrägen vorgesehen werden müssen, lassen sich Funktionsflächen wie Lagersitze oder Verzahnungen häufig in einbaufertiger Qualität oder mit nur geringem Zerspanungsaufmaß herstellen. Hervorzuheben ist die sehr gute Materialnutzung von bis zu 100 %, da im Unterschied zum Gesenkschmieden meist gratlos gearbeitet wird. Abfall entsteht oft nur dann, wenn z.B. der Boden von Hohlkörpern ausgestanzt werden muss. Zum Einsatz kommen meist hochproduktive, schnell laufende Anlagen, wobei die Umformung häufig in mehreren Stufen erfolgt.

Das Stauchen unterscheidet sich vom Fließpressen dadurch, dass der Materialquerschnitt zunimmt, statt abzunehmen. Beim Fließen in die Kavität des Werkzeugs wird der Werkstoff vorwiegend in Querrichtung verdrängt. Je nach Verfahrensvariante wird mit teilweise offenen oder gänzlich geschlossenen Werkzeugen gearbeitet.

Auch das Stauchen erfolgt in der Regel gratfrei und kommt fallweise ohne Entformungsschrägen aus, so dass die Materialnutzung meist deutlich über 90-95 % liegt. Wie bei anderen Verfahren kann die Formgebung je nach Anforderungen einstufig oder in mehreren Schritten erfolgen, zudem lassen sich die Verfahren Fließpressen und Stauchen miteinander kombinieren.

## Freiformschmieden und Ringwalzen

Das Freiformschmieden kommt dann zum Einsatz, wenn die Werkstücke für das Gesenkschmieden zu groß sind oder die Komplexität der Geometrie bei zugleich kleinen Stückzahlen so gering ist, dass sich die Herstellung eines Gesenks nicht rechnet. Das Verfahren ähnelt stark dem „klassischen“ Schmieden früherer Jahrhunderte mit Hammer und Amboss, doch sind die Werkzeuge heute viel mächtiger und werden maschinell bewegt. Im oberen Gewichtsbereich wiegen die Werkstücke bis zu mehr als 100 t und werden mit Pressen bearbeitet, deren Schließkraft über 100 MN (10 000 t) erreichen kann.

Durch Ringwalzen werden nahtlose, großformatige Ringe z. B. für Drehkräne oder Großzahnräder im Maschinen- und Anlagenbau hergestellt. Die Fertigung erfolgt meist auf speziellen Ringwalzwerken,

deren Steuerung das komplexe Zusammenspiel von Durchmesser, Dicke und Breite in Echtzeit berücksichtigen muss. Mit Hilfe spezieller Walzen lassen sich neben rechteckigen Querschnitten auch anspruchsvollere Geometrien wie z. B. Ringe mit konischem Profil herstellen.

## Kalt-, Halbwarm- und Warmumformung

Eine entscheidende Einflußgröße des Masivumformens ist die Temperatur, mit welcher der Rohling in den Prozess einläuft. Höhere Temperaturen machen den Werkstoff „weicher“, setzen die erforderlichen Kräfte herab und ermöglichen höhere Umformgrade. Bei der Warmumformung, dem klassischen Schmieden, wird der Stahl auf rund 1 200 °C erhitzt. Bei dieser Temperatur werden verformungsbedingte Verfestigungen noch während des Umformprozesses wieder abgebaut. Dies senkt den Kraftbedarf und erhöht das Umformvermögen des Werkstoffs. Besonders wirtschaftlich sind AFP-Stähle (ausscheidungshärtende ferritisch-perlitische Stähle). Diese häufig mit Vanadium und Stickstoff legierten Güten erreichen ihre Gebrauchseigenschaften durch kontrollierte Abkühlung aus der Schmiedehitze, so dass eine separate Wärmebehandlung entfallen kann.

Bei der Halbwarmumformung versucht man, die Vorteile des Kaltfließpressens mit denen des Warm Schmiedens zu kombinieren.



Bildnachweis: Sona BLW Präzisions schmiede

**Bild 2:** Gangrad für ein PKW-Getriebe. Kuppelverzahnung sowie Mitnehmeraschen wurden einbaufertig geschmiedet, zu bearbeiten waren Laufverzahnung und Bohrung



**Bild 3:** Der filigrane Hängebügel aus Edelstahl wiegt nur 190 g und wird auf einer Spindelpresse gefertigt. Der ununterbrochene Faserverlauf und die belastungsgerechte Materialverteilung gewährleisten maximale Belastbarkeit

Bildnachweis: Schwarz AG

Werkstoffklasse	Zugfestigkeit	Streckgrenze	Bruchdehnung
	$R_m$	$R_{p0,2}$	A5
	MPa	MPa	%
Baustähle	290 - 830	175 - 365	Sep-26
DIN EN 10025			
Feinkornbaustähle	370-780	205-500	16-24
DIN EN 10222-1			
Nitrierstähle	800-1 200	600-800	10-14
DIN EN 10085			
AFP-Stähle	750-1 100	450-600	8-14
DIN EN 10267			
Vergütungsstähle	470-1 450	290-1 050	9-21
DIN EN 10083 T1			
(Eigenschaften abhängig von Wärmebehandlungszustand und Wanddicke)			

**Tabelle:** Die am häufigsten eingesetzten Werkstoffgruppen und ihre wichtigsten Gebrauchseigenschaften

Bildnachweis: Hirschvogel Automotive Group



**Bild 4:** Einbaufertig kaltumgeformte Lamellenverzahnung. Durch die Kaltverfestigung an den Flanken der Verzahnung können weitere Warmbehandlungsschritte eingespart werden. Die Verzahnung wird ohne weitere Nachbearbeitung eingesetzt

Bildnachweis: Neumayer Tekfor



**Bild 5:** Kaltfließgepresste Lenkradnabe mit einer Flanschdicke von 1mm mit speziell abgestimmten Materialeigenschaften (Faserverlauf und Kaltverfestigung) im Flansch

Bildnachweis: Hirschvogel Automotive Group



**Bild 6:** Kalt mit Hinterschnitt umgeformte Getriebewellen. Dieser Verfahrenstrick ermöglicht die Kombination der geringen Aufmaße der Kaltumformung mit weiteren Werkstoffeinsparungen zwischen den Festrädern der Getriebewelle

Bildnachweis: Neumayer Tekfor



**Bild 7:** Kaltfließgepresstes Innenteil eines innovativen Dämpfungselements für den Antriebsstrang von heckgetriebenen Fahrzeugen aus C15. Aufgrund der Kaltverfestigung erreicht das Bauteil die geforderten mechanischen Eigenschaften ohne weitere Wärmebehandlung

ren. Das Temperaturgebiet der Halbwarmumformung liegt bei Stahl zwischen 700 und 950 °C und damit meist oberhalb bzw. nur knapp unterhalb der Austenitumwandlungstemperatur von 723 °C. Dies bedingt geringere Kräfte und erhöhtes Formänderungsvermögen im Vergleich zur Kaltumformung, während Werkzeugbeanspruchung und Zunderbildung deutlich geringer sind als bei der Warmumformung.

Bei der Kaltumformung hat der Rohling zu Beginn des Prozesses Raumtemperatur. Da keine Schwindung oder Verzunderung auftritt, weisen durch Kaltumformung her-

---

### *Der Umformer sollte in einem frühen Stadium der Entwicklung und Konstruktion konsultiert werden*

---

gestellte Teile eine so hohe Maß- und Formgenauigkeit auf, dass selbst anspruchsvolle Funktionsflächen oft einbaufertig hergestellt werden können.

Die Gestaltungsfreiheit ist jedoch aufgrund der bei Raumtemperatur sehr begrenzten Formänderungsfähigkeit der Werkstoffe und der hohen Werkzeugbelastung erheblich eingeschränkt. Für die Kaltumformung wählt man vornehmlich niedrig legierte Einsatz- und Vergütungsstähle mit Kohlenstoffgehalten unter 0,5 % und Gesamt-Legierungsgehalten unter 5 %.

### **Typische Eigenschaften von Stahlschmiedestücken**

Die Bandbreite der massivumformbaren Stahlegierungen ist sehr groß und reicht von Baustählen über Kohlenstoff- und Vergütungsstähle bis zu hochlegierten Sorten. Entsprechend breit ist auch das Spektrum der erzielbaren Eigenschaften, das von mittlerer Festigkeit bei sehr guter Zähigkeit bis zu höchsten Festigkeiten bzw. Härten bei hochlegierten Stahlwerkstoffen reicht. Lediglich für eine erste Groborientierung sind in der Tabelle die in der Praxis am häufigsten eingesetzten Werkstoffe in Gruppen eingeteilt, für die gewisse Erwartungshorizonte bezüglich der wichtigsten Gebrauchseigenschaften angegeben werden können. Für verbindliche Angaben sollten auf jeden Fall die einschlägigen Regelwerke und Normen herangezogen werden. Da viele Umformer jedoch über weiterentwickelte Werkstoffe verfügen, empfiehlt es sich, sie möglichst frühzeitig schon während der Entwicklungsphase zu konsultieren.