

# Freiformschmieden und Ringwalzen verbessern Bauteileigenschaften

**Das Freiformschmieden als ältestes Schmiedeverfahren und das Ringwalzen sind zwei flexible Fertigungsverfahren der modernen Schmiedetechnik. Mit ihnen lassen sich die Vorzüge des homogenen geschmiedeten Werkstoffs besonders bei schweren, einzeln angefertigten Werkstücken und für kleinere Serien nutzen. Bei Freiformschmiedestücken sind die Formgebungsmöglichkeiten praktisch unbegrenzt.**

WERNER W. ADLOF UND VOLKMAR S. SCHULZ

In Deutschland stellen heute etwa drei Dutzend Schmiedeunternehmen Freiformschmiedestücke und nahtlos gewalzte Ringe aus Stahl her. 1998 handelte es sich um ein Produktionsvolumen von etwa 330 000 t - davon 130 000 t nahtlos gewalzte Ringe. Dies sind 16% der Gesamtproduktion an Schmiedeteilen aus Stahl in Deutschland, die 1998 bei über 2 Mio. t lag. Auch aus NE-Metallen werden Freiformschmiedestücke und nahtlos gewalzte Ringe erzeugt, beispielsweise aus Aluminium-, Titan-, Nickel-, Kobalt- und Kupferlegierungen. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich jedoch vorwiegend auf die schmiedbaren Eisenwerkstoffe.

## **Schmiedeprodukte sind qualitativ hochwertig**

Die Flexibilität des Freiformschmiedens und Ringwalzens gibt diesen Verfahren besondere Möglichkeiten im Bereich der Einzel- und Kleinserienfertigung, aus qualitativen Gründen aber auch bei der Mittel- und Großserienfertigung, wie bei Kugellagerringen, Eisenbahn-Laufradbandagen, Bohrstangen oder Kupplungsmuffen bei Ölbohrgestängen. Meistens entfallen besondere Kosten für spezielle Werkzeuge. Die praktisch unbegrenzten Formgebungsmöglichkeiten kommen dem Konstrukteur entgegen. Bei komplizierten Teilen sollte jedoch vor der Konstruktion der Rat eines Schmiedefachmanns eingeholt werden, um die fertigungstechnischen Möglichkeiten zu klären.

Bei der Herstellung von abgesetzten und hohlen Produkten wie Wellen und Buchsen wirkt sich die Werkstoffersparnis — besonders bei teuren Stahlsorten — direkt aus. Ein gutes Beispiel sind Zapfen, die in einem Hilfsgegen (Ring) fertig geschmiedet werden. Nicht nur der Kostenvergleich zwischen einem zusätzlichen Schmiedearbeitsgang und dem Spanen aus dem Vollen kann wirtschaftliche Vorteile für das endmassnahe Schmieden bringen. Auch qualitative Verbesserungen - zum Beispiel durch einen beanspruchungsgerechten Faserverlauf — lassen sich dabei erzielen.

Die Herstellung und der Einsatz von Hilfsgegenen, einfachen Vorrichtungen und Sonderwerkzeugen sind dann sinnvoll, wenn bei Formstücken beispielsweise eine größere Stückzahl oder eine engere Toleranz gefragt ist. Die dadurch bedingte Verkürzung der Bearbeitungszeit sowie die Werkstoffeinsparung können die Herstellungskosten dieser Hilfsmittel und die eventuell anfallenden höheren Rüstkosten rechtfertigen.

Diese Vorteile der Schmiedeprodukte führen selbst bei einem höheren Stückpreis zu einem günstigen Kosten-Nutzen-Verhältnis verglichen mit Erzeugnissen, die mit alternativen Verfahren hergestellt werden. Kurze Liefertermine können allerdings oft nur durch Akzeptanz erhöhter Herstellungskosten realisiert werden. Unzureichende Auslastungen der Öfen und Aggregate sind immer kostentreibend.

Kosten und Liefertermine sind aber auch von dem Aufheiz-, Schmiede-, Abkühlungs- und Wärmebehandlungsaufwand abhängig. Zum Beispiel erfordern komplizierte Formen mehrere Schmiedehitzen. Hochlegierte Stähle benötigen langsame Aufwärm- und Abkühlraten beim Schmieden, Walzen und Wärmebehandeln. Forderungen nach günstigen Herstellungskosten und schnellen Lieferterminen sind daher meistens nur durch Kompromisse zu erfüllen. Kosten können durch Zusammenlegen von Losen mit gleichen Vergütungsparametern reduziert werden, wobei allerdings das Sammeln solcher Lose die Herstellungs- und Lieferzeit verlängert.

Die besseren mechanischen Eigenschaften von geschmiedeten Werkstücken oder nahtlos gewalzten Ringen und der nicht unterbrochene Faserverlauf gestatten bei gleicher Belastung eines Bauteils eine kompaktere Konstruktion und damit eine leichtere Bauweise. Ein weiterer Vorteil, der dem Konstrukteur durch das Schmieden und Ringwalzen geboten wird, ist die Vielfalt der schmiedbaren Werkstoffe, die speziell für jeden Verwendungszweck ausgewählt werden können.

Freiformschmiedestücke und nahtlos gewalzte Ringe zeichnen sich durch hohe Lebensdauer unter dynamischen Beanspruchungen aus. Dazu tragen ein hoher Grad an Werkstoffinhomogenität, ausgewogene Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften, ein beanspruchungsgerechter Faserverlauf und eine optimale Oberflächenbearbeitung bei.

Die Vorteile des Freiformschmiedens und Ringwalzens sind:

- ⇒ Auch größere Werkstücke können umgeformt werden.
- ⇒ Einzelstücke und kleine Serien können wirtschaftlich hergestellt werden.
- ⇒ Kurze Liefertermine — im Vergleich zu Gesenkschmiedeteilen und Formguss — sind möglich, weil keine speziellen Werkzeuge, Gesenke oder Formen angefertigt werden

- ⇒ müssen.  
Qualitative Überlegenheit der Schmiedeprodukte gegenüber Erzeugnissen aus anderen Herstellungsverfahren.

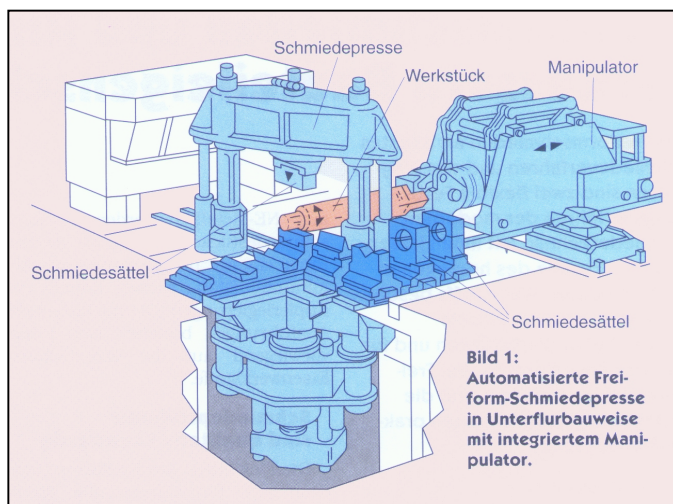
Gemeinsam mit allen anderen Schmiedeprodukten haben Freiformschmiedestücke und gewalzte Ringe weitere Vorteile:

- ⇒ Große Vielfalt der verwendbaren Werkstoffe.
- ⇒ Einsparung von Werkstoff und Bearbeitungskosten durch eine an die Fertigform weitgehend angenäherte Schmiedeform. **Freiformschmieden ist nicht ersetzbar**

Unter dem Oberbegriff „Schmieden“ wird das Warmumformen von Stahl und anderen Metallen auf Hämmern, Pressen, Schmiedemaschinen, Reck-, Quer- und Ringwalzwerken und anderen Umformmaschinen oder auf dem Amboss mit dem Handhammer verstanden.

Beim Freiformschmieden erhält das auf Schmiedetemperatur erwärmte Werkstück seine Form durch Recken, Breiten, Stauchen, Rundieren, Absetzen, Lochen zwischen rund oder spitz gekerbten oder flachen Werkzeugen (Sätteln), die im Gegensatz zum Gesenkschmieden nicht an die Endform des Schmiedestücks gebunden sind. Auf diesen Sätteln erfolgt die Umformung noch heute wie eh und je in partiellen Umformschritten durch vielfache Schmiedehübe. Dabei wird das Werkstück durch den Schmied - von Hand oder mittels Manipulatoren — durch Stellen, Legen, Drehen, Verschieben, Kanten in die richtige Schmiedeposition gebracht.

Während in früherer Zeit Muskelkraft und Wasserantrieb das Bild der Freiformschmiede prägten, sind es heute Elektro-, Druckluft-, Dampf- und Hydraulikantriebe mit Unterstützung durch Manipulatoren und numerische Steuerungstechnik (Bild 1).



**Bild 1: Automatisierte Freiformschmiedepresse**

Freiformschmiedestücke gibt es in Form von Stäben, Wellen, Scheiben, Lochscheiben, Buchsen, Ringen und anderen Erzeugnissen. Zahllose Formstücke werden nach Zeichnung und Kundenauftrag geschmiedet und finden in der Maschinen-, Anlagen- und Transporttechnik vielfältige Anwendungen.

Durch die nicht zweckgebundene Form der Freiform-Schmiedewerkzeuge ist es jederzeit möglich, Einzelstücke oder kleine Serien für Prototypen herzustellen, die dann nach der Testphase eventuell auch als Gesenkschmiedeteile in Großserie gehen können.

Das Freiformschmieden wird auch künftig ein unentbehrliches, wichtiges Fertigungsverfahren sein, weil es durch keine andere Technik ersetzbar ist und extrem flexibel in einem weiten Stückgewichtsbereich anwendbar ist.

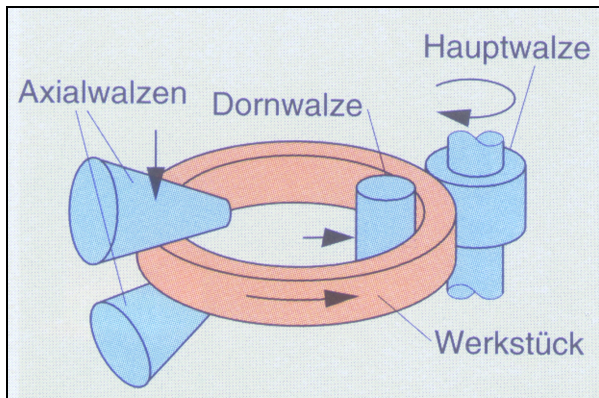
Das Ringwalzen (Bild 2) ist ein flexibles Umformverfahren insbesondere für nahtlose Ringe mit rechteckigem Querschnitt. Ohne Umrüsten der Werkzeuge lassen sich auf einer Maschine Ringe der unterschiedlichsten Durchmesser, Wanddicken und Höhen herstellen. Zum Einsatz kommen meist Radial-Axial-Ringwalzwerke, bei denen während des Walzens gleichzeitig Ringhöhe und Ringwanddicke in zwei Walzspalten reduziert werden.

Nahtlos gewalzte Ringe haben ein homogenes Gefüge und einen Faserverlauf in Umlaufrichtung; sie sind deshalb gas- und flüssigkeitsdicht und zeichnen sich durch eine besondere tangentielle Belastbarkeit aus. Aus diesen Gründen haben nahtlos gewalzte Ringe dort zahlreiche Anwendungen gefunden, wo hohe Belastung und Sicherheitsforderungen von Bedeutung sind, beispielsweise als Komponenten für Getriebe, Kupplungen, Wälzlager, für Druckkessel und Ventile. Auch die Luft- und Raumfahrtindustrie, der chemische Apparatebau, die Verfahrenstechnik, die Automobilindustrie sowie zahlreiche weitere Branchen verwenden nahtlos gewalzte Ringe.

## Freiformschmiedestücke bis über 100 t Stückgewicht

Schmieden ist Umformen bei Warmformgebungstemperatur. Die richtige Schmiedetemperatur - je nach Stahlsorte in den Grenzen von etwa 1200 bis 800 °C - schafft die Voraussetzung für ein einwandfreies und wirtschaftliches Umformen. Art und Dauer des Anwärmens und Abkühlens hängen von der Größe des Einzelstücks und dem Legierungsgehalt der Stahlsorte ab. Freiformschmiedestücke werden hauptsächlich unter Schmiedehämmern und hydraulischen Schmiedepressen hergestellt. Die Formgebung erfolgt im Wesentlichen zwischen dem Ober- und Untersattel.

Die Handhabung schwerer Schmiedestücke beim Freiformschmieden ist ohne Manipulator heute nicht mehr denkbar. Nur kleinere Stücke bis etwa 30 kg werden noch immer mit Handkraft manipuliert. Handgesteuerte oder automatische Manipulatoren, schienengebunden, frei fahrend oder fest stehend, bewegen Schmiedestücke bis über 100 t Gewicht schnell und kraftvoll — eine wichtige Voraussetzung für wirtschaftliches Schmieden. Wichtig sind hierbei Kenntnisse über die Reihenfolge der Schmiedeschritte, das



**Bild 2: Das Ringwalzen Ist ein flexibles Umformverfahren vor allem für nahtlose Ringe mit rechteckigem Querschnitt.**

Abstimmen der Schlag- beziehungsweise Presskraft und die richtige Lage des Schmiedestücks vor jedem Schlag oder Hub, die Stahlsorte und die Schmiedetemperatur.

Die Arbeitsschritte, die beim Umformen unter Hämmern oder Pressen zwischen den Sätteln aufeinander folgen, sind prinzipiell die gleichen, die der Handschmied beim Formen auf dem Amboss vollbringt.

## Strukturmängel im Gefüge können beseitigt werden

Schmieden bewirkt immer eine Verbesserung des Gefüges. Strukturmängel wie grobes und orientiertes Gussgefüge oder Lunker, die herstellungsbedingt im gegossenen Rohblock vorliegen, können beseitigt werden. Der Schmiedeprozess verbessert die mechanisch-technologischen Eigenschaften der Werkstücke.

Neben Art und Reinheit des Stahls sowie seiner späteren Wärmebehandlung ist die Güte des Schmiedestücks durch seinen Verschmiedungsgrad geprägt. Der beanspruchungsgerechte Faserverlauf im Schmiedestück gewährleistet eine hohe Belastbarkeit des Bauteils. Durch drastische Reduzierung des Phosphor- und Schwefelgehalts und Verbesserung des Steigerungsgrads in modernen Stählen ist der Faserverlauf allerdings nur noch schwach ausgeprägt und teilweise metallographisch nur noch schwer nachweisbar. Deshalb können heute bei besonders reinem Stahl auch quer zum Faserverlauf beachtliche Zähigkeitseigenschaften erzielt werden.

Weit verbreitet ist das Reckschmieden (Recken/Strecken des Schmiedestücks). Unter Recken versteht man das Verlängern eines Werkstücks bei gleichzeitiger Reduzierung seines Querschnitts. Das Reckverhältnis ist der Quotient der Endlänge zur Ausgangslänge beziehungsweise entspricht dem Verhältnis des Ausgangsquerschnitts zum Endquerschnitt. Die Angabe des Reckverhältnisses — allgemein auch als Verformungsgrad bezeichnet - gilt häufig als kennzeichnendes Maß für die Umformung und Güte des Schmiedeerzeugnisses.

Nicht weniger verbreitet ist das Stauchschnieden. Unter Stauchen versteht man das Verkürzen der Achse von Rohblöcken oder Vormaterialabschnitten, meist in senkrechter Position zwischen den Sätteln. Je nach Endform der Schmiedestücke kann das Stauchen eine Vorstufe zum anschließenden Recken sein, um den Ausgangsquerschnitt und damit den Gesamtverformungsgrad zu vergrößern, oder eine Vorstufe für Fassonschmiedestücke wie Scheiben, Lochscheiben, Platten, Klötze oder eine Vorstufe für nahtlos gewalzte Ringe. Allen gestauchten Freiformschmiedestücken gemeinsam ist die sogenannte dreidimensionale Verschmiedung in allen Richtungen der Raumkoordinaten. Im Gegensatz hierzu verläuft das Reckschmieden nur zweidimensional.

Eine besondere Bauart von Freiformschmiedemaschinen sind die Langschmiedemaschinen, bei denen die Umformung in radialer Richtung -meist mit vier Werkzeugen — erfolgt. Dieser Maschinentyp ermöglicht die Herstellung von wellenartigen Teilen unterschiedlichen Querschnitts mit ab-

gestuften Durchmessern und von Langprodukten unterschiedlicher Querschnittsprofile. Auf Langschmiedemaschinen hergestellte Teile werden wegen ihrer besonders engen Maßtoleranzen auch als Feinschmiedeteile bezeichnet. Langschmiedemaschinen sind häufig mit einer CNC-Steuerung ausgerüstet, so dass eine hohe Wiederholgenauigkeit der Werkstückmaße und -toleranzen erzielt werden kann.

### **Ringwalzen von Teilen bis 8000 mm Durchmesser**

Ringwalzen ist ein partielles Umformen von Ringen im Walzspalt eines Ringwalzwerks. Das Ausgangsstück ist eine geschmiedete und gelochte Scheibe. Ohne Umrüsten der Werkzeuge lassen sich auf einem Ringwalzwerk Ringe mit unterschiedlichen Durchmessern, Wanddicken und Höhen herstellen. Dadurch hat sich dieses Verfahren zur Herstellung von Ringen mit Durchmessern von etwa 100 mm bis 8 000 mm gegenüber anderen Fertigungsverfahren durchgesetzt. Die axiale Höhe kann im Bereich von etwa 20 bis etwa 1500 mm liegen, die Stückgewichte können bis über 10 t betragen.

Bei einem Radial-Axial-Ringwalzwerk, dem häufigsten Maschinentyp, werden während des Walzens gleichzeitig Ringhöhe und Ringwanddicke in zwei Walzspalten reduziert (Bild 3).

Eine vereinfachte Form stellen die Radial-Ringwalzwerke dar mit nur einem Walzspalt zur Reduzierung der Ringwanddicke. Die Ringhöhe stellt sich hier in Abhängigkeit vom gewählten Voring durch freie Breitung ein oder wird durch die Geometrie der Werkzeuge des Radialwalzspalts festgelegt. Dieses Verfahren wird in erster Linie für die Herstellung hülsenförmiger Ringe genutzt

Mit profilierten Haupt- und Dornwalzen können auf Radial-Axial-Ringwalzwerken radial profilierte Ringe produziert werden. Möglich - aber kaum in der Anwendung — sind profilierte Kegelwalzen zur Fertigung von axial profilierten Ringen. Den erzielbaren Fertigeometrien der Ringe sind aber durch den begrenzten Werkstofffluss quer zur Walzrichtung und das wanddickenabhängige unterschiedliche Fließvermögen Grenzen gesetzt.

Komplex profilierte Ringe werden auf Radial- und Axial-Gesenkwalzwerken gefertigt. Hier wird die hohe Genauigkeit des Gesenkumformens mit dem geringen Kraftbedarf des partiellen Umformens beim Ringwalzen kombiniert. Bei dem Radial-Gesenkwalzen wird der Ring in eine umlaufende, zweiteilige Matrize gedrückt

### **Wärmebehandlung optimal durchführen**

Die Abkühlung der Schmiedestücke nach dem Umformen erfolgt je nach Stahlsorte, chemischer Analyse, Form und Größe an Luft, unter dem Schutz einer Abdeckung oder geregelt im Ofen. Die Festigkeit und Zähigkeit sind wichtige Eigenschaften des Schmiedestücks. Sie werden beeinflusst durch die chemische Zusammensetzung, die Umformtemperatur, das Umformverfahren, die Schmiedestückform und die angewandte Wärmebehandlung.

Zur Erzielung bestimmter mechanisch-technologischer Werte werden die Schmiedestücke gegebenenfalls normalgeglüht oder vergütet (gehärtet und angelassen), rost-, säure- und hitzebeständige Stähle auch lösungsgeglüht und abgeschreckt. Werden nach der Auslieferung noch weitere die Gebrauchseigenschaften bestimmende Wärmebehandlungen - wie das Einsatzhärten - durchgeführt, werden die Schmiedestücke auch geglüht geliefert. Die Eigenschaften hochwertiger Werkstoffe können erst dann richtig genutzt werden, wenn die Wärmebehandlung optimal durchgeführt wird.

Verzüge bei Schmiedestücken können in der Regel durch Richten behoben werden. Verzüge sind verfahrensbedingt und können besonders bei langen und/oder dünnen Teilen nicht vermieden werden. Sie entstehen zum Beispiel beim Härten in flüssigen Bädern.

Zu richtende Teile müssen genügend Bearbeitungszugabe besitzen, um Richttoleranzen, die in der Regel 1 mm je laufendem Meter betragen, auszugleichen. Lange und dünne Stäbe und Wellen müssen daher mehr Bearbeitungszugabe haben als gedrungene Schmiedestücke. Gerichtete Teile können zum Abbau der Richtspannungen spannungsarm geglüht werden. Dabei ist zu beachten, dass der Spannungsabbau nur durch Fließvorgänge im Werkstück erfolgen kann, was abermals leichte Verzüge nach sich ziehen kann. Auch hier ist ausreichende Schnitzzugabe erforderlich.

Bearbeitungszugaben und zulässige Abweichungen für freiformgeschmiedete Scheiben, Lochscheiben, Ringe, Buchsen und Stäbe sind bis zu einer gewissen Größe in DIN 7527, Teile 1 bis 6, genormt. Auch für bestimmte Formteile, wie Lasthaken oder Gabelzinken, gibt es DIN-Normen. Für viele andere Freiformschmiedestücke — insbesondere für größere Querschnitte — gibt es jedoch keine Maßnormen. Daher werden in diesen Fällen zwischen Besteller und Lieferer auftragspezifische Vereinbarungen getroffen.

### **Anforderungen an Werkstoffe sind zum Teil widersprüchlich**

Für Freiformschmiedestücke und gewalzte Ringe werden unlegierte, niedrig legierte (bis etwa 5% Legierungsgehalt) und hoch legierte Stähle verwendet. An die Eigenschaften der Schmiedestähle werden je nach Anwendung die unterschiedlichsten, nicht selten sich widersprechenden Anforderungen gestellt. Diese können sein: Beschichtbarkeit, Dauerstandfestigkeit, Duktilität, elasti-

sche Eigenschaften, Fein-oder Grobkörnigkeit, Festigkeit und Streckgrenze, gute Bearbeitbarkeit, Härbarkeit, Hitzebeständigkeit, hohe Permeabilität, Korrosionsbeständigkeit, makro- und mikroskopische Reinheit, Nichtmagnetisierbarkeit, Nitrierfähigkeit, Rost- und Korrosionsbeständigkeit, Schweißbarkeit, Unempfindlichkeit gegen Spannungsrisse (wie bei Sauergasanwendungen). Vergütbarkeit, Warmfestigkeit, Zähigkeit.

Diese Eigenschaften finden sich einzeln oder kombiniert in den bekannten Stahlgruppen: allgemeine Baustähle, Feinkornbaustähle, unlegierte Kohlenstoffstähle, alterungsbeständige Stähle, kaltzähe Stähle, Warmfeste und hochwarmfeste Stähle, legierte Vergütungsstähle, Einsatzstähle, Nitrierstähle, Stähle für Oberflächenhärtung, Wälzlagerstähle, AFP-Stähle, Werkzeugstähle, rost-, hitze- und säurebeständige Stähle.

Die Liefervorschriften für diese Stähle sind in Normen (150. EN, DIN), Werkstoffblättern, Regelwerken, Rules der Klassifikationsgesellschaften und in Werksnormen festgelegt, ferner in ausländischen Normen wie ASTM, ASME, AISI, SAE (alle USA), British Standard und AFNOR (Frankreich).

Vormaterial für Freiformschmiedestücke sind Rohblöcke, Rohstrangguss und vorgewalztes Halbzeug. Der Verwendungszweck des Freiformschmiedestücks bestimmt die Auswahl des Vormaterials. Bei Stahlwerkstoffen kommt das Vormaterial in der Regel aus konventionellen Schmelzanlagen wie Elektroöfen oder Sauerstoffblaskonvertern. Durch die moderne Sekundärmetallurgie in speziellen Pfannenöfen und Entgasungsanlagen wird die Homogenität, Reinheit und Gasarmut des Stahls entscheidend verbessert. Für extreme Anforderungen an die Stahlreinheit und Homogenität wird das Vormaterial in einem zweiten Schmelzprozess - Elektroschlack-Umschmelzen oder Vakuumlichtbogenofen-Umschmelz - umgeschmolzen und gereinigt.

In einem ständigen Verbesserungsprozess haben es die Freiformschmiedenden verstanden, die kundenseitigen Forderungen nach engeren Toleranzen und besserer Oberflächenbeschaffenheit, gesteigerter Homogenität und höheren mechanisch-technologischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften weitgehend zu erfüllen durch Auswahl und Entwicklung geeigneter Maschinen, Arbeitsverfahren, Werkzeuge und Vormaterialsorten.

### **Schon beim Konstruieren Qualitätssicherung planen**

Durch sorgfältige Qualitätsplanung vor der Fertigung, gewissenhafte Qualitätsüberwachung in allen Fertigungsstufen von der Wareneingangskontrolle über das Schmieden und die weiteren Arbeitsschritte bis zur Warenausgangskontrolle werden die vom Besteller geforderten Eigenschaften der Freiformschmiedestücke und nahtlos gewalzten Ringe nachgewiesen und gewährleistet. Die Qualitätsplanung sollte schon bei der Festlegung des Werkstoffs, der Verarbeitung, der Wärmebehandlung und aller Prüfungen beginnen. Hier sollten Konstrukteur, Metallurge und Schmiedefachmann gemeinsam entscheiden und/oder sich gegenseitig beratend unterstützen.

Unter Beachtung aller Bestimmungen der Abnahmegesellschaften und Gutachter sind die integriert zu schmiedenden Proben festzulegen. Sie dienen dem Nachweis der Güte der Schmiedestücke.

Zur Bestätigung, dass die Schmiedestücke frei sind von inneren und äußeren Fehlern, werden neben anderen Verfahren vorwiegend Ultraschall- und Oberflächenriss-Prüfungen durchgeführt und dokumentiert. Die mechanisch-technologischen Eigenschaften werden an Zug- und Kerbschlagbiegeproben sowie an Fallproben ermittelt und ebenfalls mit Zeugnissen nach EN 10204 dokumentiert.

Spezielle Prüfungen der chemischen und physikalischen Eigenschaften der Freiformschmiedestücke dienen beispielsweise dem Nachweis der Korrosionsbeständigkeit rostbeständiger Stähle, der Verhinderung schwefelinduzierter Spannungsrisse bei Sauergasanwendung und dem Nachweis geringer Magnetisierungsverluste von Rotor- und Generatorwellen.

Freiformschmiedestücke und nahtlos gewalzte Ringe werden nur teilweise im schmiederohen Zustand ausgeliefert. Häufig werden die Schmiedestücke beim Hersteller mechanisch vorbearbeitet oder nach Kundenzeichnung fertigt bearbeitet.

Ing. Werner W. Adlof ist Leiter der Informationsstelle Schmiedestück-Verwendung im Industrieverband Deutscher Schmiedenden e. V., Hagen; Dipl.-Ing. Volkmar S. Schutz ist technischer Leiter Qualitätswesen und Wärmebehandlungsbetriebe der Karl Diederichs Stahl-, Walz- und Hammerwerk in Remscheid. Weitere Informationen: Werner W. Adlof, Tel. (0 23 31) 95 88-0, Fax (023 31) 5 10 46. Internet: [www.schmiede-info.de](http://www.schmiede-info.de).