

Die Präzisionsumformung und speziell das Präzisionsschmieden ist eine unverzichtbare und zukunftssträchtige Schlüsseltechnologie für den Bereich der Antriebstechnik. Der erforderliche Aufwand

für die erfolgreiche Anwendung des Präzisionsschmiedens darf jedoch nicht unterschätzt werden. Denn dies ist keine Verfahrenstechnologie, die „eingekauft“ werden kann, sie läßt sich vielmehr nur mit erheblichem technologischen Einsatz in einem besonderen Umfeld entwickeln. Wegen ihrer hohen Belastbarkeit und

wegen der Möglichkeit der Realisierung besonders gewichts- und raumsparender konstruktiver Konzepte sind Präzisionsschmiedeteile aus dem Getriebebau und dem Antriebsstrang für Pkw und Nutzfahrzeuge nicht mehr wegzudenken.

Präzisionsumformung – eine Schlüsseltechnologie für die Antriebstechnik

Christoph Westerkamp und Gerd Weißmann, Remscheid

Dr.-Ing. *Christoph Westerkamp*, Jahrgang 1964, studierte an der RWTH Aachen Hüttenkunde mit dem Schwerpunkt Umformtechnik. Anschließend arbeitete er am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen der Universität Hannover als wissenschaftlicher Mitarbeiter und promovierte hier auf dem Gebiet des Präzisionsschmiedens. Seit Beginn 1996 arbeitet er bei der Thyssen Umformtechnik GmbH, Geschäftsfeld Getriebeteile, in leitender Funktion im Bereich Konstruktion, Fertigungsplanung und Entwicklung.

Dipl.-Ing. Dr. tech. *Gerd Weißmann*, Jahrgang 1941, studierte technische Chemie mit Schwerpunkt Verfahrenstechnik an der TU Wien und promovierte auf dem Gebiet Sinterwerkstoffe. Nach 18jähriger Tätigkeit bei einem Hersteller von Ventilen und Präzisionsschmiedeteilen als Versuchsleiter, Leiter Qualität und Leiter Konstruktion, Entwicklung war er von 1989 bis 1995 Leiter Engineering der BLW Präzisionsschmiede GmbH. Seit Oktober 1995 ist er Geschäftsführer der BLW Präzisionsschmiede GmbH und Geschäftsfeldleiter des Geschäftsfeldes Getriebeteile der Thyssen Umformtechnik GmbH.

Für die Antriebstechnik sind Präzisionsumformverfahren und hier insbesondere das Präzisionsschmieden von besonderem Interesse. Sie weisen gegenüber spanabhebenden Verfahren Vorteile in bezug auf Materialausnutzung, Fertigungstaktzeit und erreichbare mechanisch-technologische Bauteileigenschaften auf.

Das Präzisionsschmieden ist nicht, wie man zunächst vermuten könnte, eine Weiterentwicklung des konventionellen Gesenkschmiedens in Richtung konturnahes Schmieden, sondern zielt von vornherein auf die Herstellung einbaufertiger, komplexer Funktionselemente ab. In der Regel wird die fertige Funktionsfläche, zum Beispiel die Verzahnung, durch die Kombination aus Warm- und Kaltumformung hergestellt. Durch die Warmumformung, die sowohl im offenen als auch im geschlossenen Gesenk vor-

genommen werden kann, vollzieht sich die eigentliche Formgebung des Schmiedeteils in seinen wichtigsten Geometrielementen. In der darauf folgenden Kaltumformung wird das Bauteil partiell umgeformt und auf die geforderte Maß- und Formgenauigkeit gebracht. Zusätzlich werden Oberflächenverbesserungen erzielt und die in der abschließenden Wärmebehandlung nicht zu vermeidenden Härteverzüge vorkorrigiert. Auf diese Weise lassen sich durch die Integration vieler Bearbeitungsschritte in die Umformung und durch die Vermeidung zusätzlichen Bearbeitungsaufwands endkonturnahe Schmiedeteile mit einbaufertigen Funktionsflächen wirtschaftlich herstellen. An die Stelle kostenintensiver und umweltproblematischer spanender Bearbeitungsverfahren tritt insbesondere bei Geometrien, die spanend nur mit großem Aufwand hergestellt werden können, ein rationelles Umformverfahren.

Die Fertigung einbaufertiger Schmiedeteile stellt in hohem Maße Anforderungen an die Präzisionsschmiedetechnologie. So müssen Voraussetzungen erfüllt werden, die einen reproduzierbaren Qualitätsstandard der Schmiedeteile gewährleisten. Dies gilt vor allem für Komponenten des Getriebebaus, **Bild 1**, die im Hinblick auf Maß- und Formgenauigkeiten sowie Oberflächengüten besonderen Ansprüchen genügen müssen [1]. Für derartige Bauteile werden daher automatisierte Fertigungsprozesse angewendet, die sich heute flexibel sowohl für Groß- als auch für Mittelserien einsetzen lassen.

Als unverzichtbare Hilfsmittel dienen darüber hinaus moderne C-Techniken wie die rechnergestützte Konstruktion der Schmiedeteile und Schmiedewerkzeuge sowie gegebenenfalls die Simulation des Schmiedeprozesses mit der Finite-Elemente-Methode. Der Einsatz eines leistungsstarken CAD-Systems macht dabei die reproduzierbare Herstellung präziser Werkzeuge möglich. Die mit CAD erzeugten Werkstück- und Werkzeuggeometrien dienen einerseits zur Erzeugung der NC-Programme für die Werkzeugfertigung, andererseits als Ausgangsdaten für die Simulation des Schmiedeprozesses, **Bild 2**. Durch die Nutzung stetig weiterentwickelter Expertensysteme können auf diese Weise, durch die Umgehung aufwendiger „Trial and Error“-Methoden bei der Prozeßauslegung Zeit und Kosten gespart werden.

Ergänzt man den Präzisionsschmiedeprozess weiterhin durch eine Betriebs- und Maschinendatenerfassung sowie eine prozeßintegrierte Qualitätssicherung, so lassen sich frühzeitig in der Fertigungskette fehlerhafte Schmiedeteile aussondern und eine Fehler- und damit einhergehend auch Kostenfortpflanzung vermeiden. Voraussetzung hierfür ist die Messung von Prozeßkenngrößen wie Umformtemperatur, Halbzeugmasse oder Umformkraft. Ist der Zusammenhang zwischen den Prozeßkenngrößen und den Qualitätsmerkmalen am Präzisionsumformteil bekannt, läßt sich über Korrelationsstrukturen die Qualität der Schmiedeteile messen und steuern.

Anwendungsbeispiele

Das industrielle Präzisionsschmieden ist im Vergleich zum konventionellen Schmieden eine noch recht junge Technologie. Den klassischen Anwendungsfall für die Entwicklung und den erfolgreichen Einsatz des Präzisionsschmiedens bilden Kegelradverzahnungen [2 bis 5]. So werden heute präzisionsgeschmiedete Differential-Kegelräder weltweit in nahezu allen Achsen moderner Nutzfahrzeuge eingesetzt. Aufbauend auf den hierbei gesammelten Erfahrungen hat sich die Umformtechnik neue Anwendungsgebiete, insbesondere im Bereich der Getriebeteile, erobert [6; 7].

Gangräder

Gangräder mit hinterstellter Kupplungsverzahnung für Pkw- und leichte Nfz-Getriebe sind ein wichtiger und vielversprechender Bereich neuer Produktanwendungen für das Präzisionsschmieden, **Bild 3** [8]. Durch die Ausnutzung konstruktiver Gestaltungsmöglichkeiten lassen sich erhebliche funktionale wie auch wirtschaftliche Vorteile gegenüber klassisch hergestellten Gangrädern erreichen. Im Vergleich zu spanabhebend gefertigten Gangrädern kann die präzisionsgeschmiedete Variante axial „kürzer“ und außerdem durch Optimierung der Querschnitte erheblich leichter gestaltet werden, **Bild 4**. Möglich wird dies durch die vertieft liegende Kuppelverzahnung und die optimierte Bodengestaltung. Weitere Vorteile sind zum Beispiel die gleichzeitig eingeschmiedeten Ölnoten sowie die nach außen offenen Synchronkonuskuppeltaschen. Durch Fußausrundung wird die Zahnfestigkeit erheblich verbessert. Umgeformte, gerundete Funktionskanten am Kuppelzahn mindern den Verschleiß und erhöhen den Schaltkomfort. Das Dach der Kuppelzähne ist mit symmetrischen und asymmetrischen Einspurflächen darstellbar. Auch die Zahnquerschnitte sind im Hinblick auf Flankenspiel, reduzierte Schaltkräfte und Komfortverbesserung umformtechnisch optimal an spezifische Anforderungen einer Synchro-

nisierung anpaßbar. Die Durchmesser-toleranzen des Kopfkreises der Kuppelverzahnung liegen bei 0,2 bis 0,3 mm. Der Teilkreisdurchmesser sowie das Maß über zwei Kugeln in der hinterstellten Kuppelverzahnung können in Serie mit 0,15 bis 0,20 mm eingehalten werden. Ausgehend von der Kuppelverzahnung werden anschließend Radkörper und Bohrung des Gangrads bearbeitet. Vom Anwender des Gang-

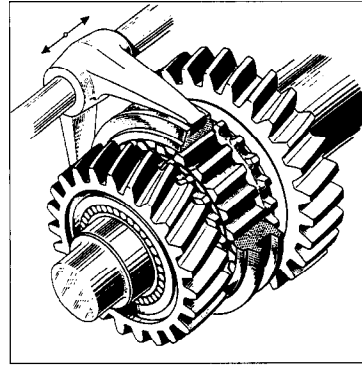


Bild 1 Innere Schaltelelemente eines Fahrzeuggetriebes [1].

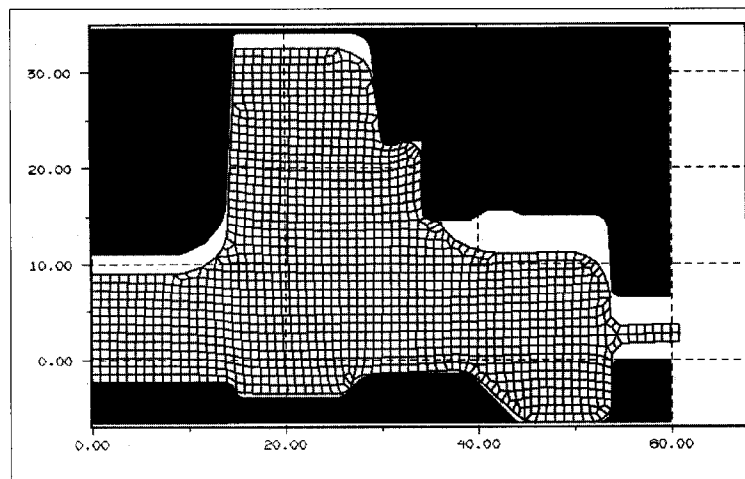


Bild 2 Momentaufnahme der Stoffflußsimulation eines Gangrads.

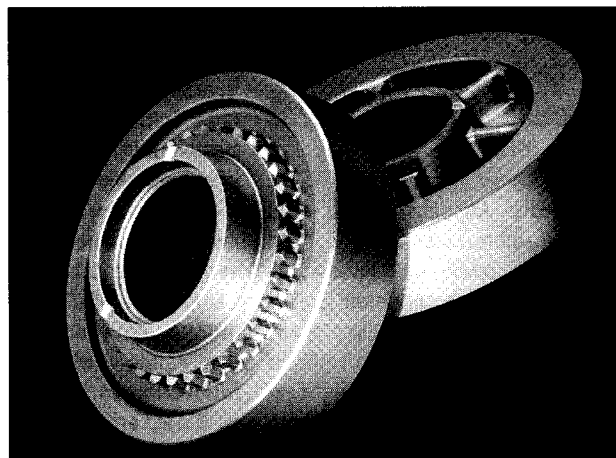


Bild 3 Präzisionsgeschmiedete Schalträder mit einbaufertiger Kupplungsverzahnung.

rads muß lediglich die schrägverzahnzte Laufverzahnung gefräst und die Hartfeinbearbeitung im Anschluß an die Wärmebehandlung ausgeführt werden.

Unter Ausnutzung aller konstruktiven Gestaltungsmöglichkeiten verbessern präzisionsgeschmiedete Gangräder den Schaltkomfort, mindern Geräusch und Verschleiß und tragen dazu bei, Gewicht und Baulänge des Schaltgetriebes zu verringern. Derzeit werden für Ein- und Mehrfachsynchrosynchronisationen

weltweit umformtechnisch hergestellte Gangräder erfolgreich eingesetzt.

Klauenkupplung und Synchronringe

Die Leistungsfähigkeit der Präzisionsschmiedetechnologie zeigt sich auch im Bereich von Kupplungselementen und Synchronringen, **Bild 5** und **6**. Hier bietet das Präzisionsschmieden gegenüber der spanenden Fertigung vor allem dann Vorteile, wenn komplexe Geo-

Bild 4 Gewichtseinsparung durch Präzisionsumformung.

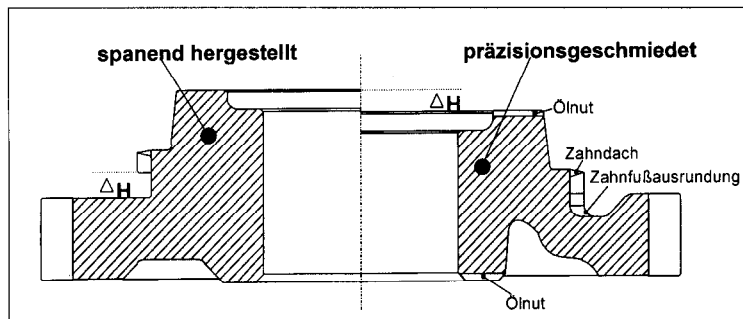


Bild 5 Klauenkupplung.

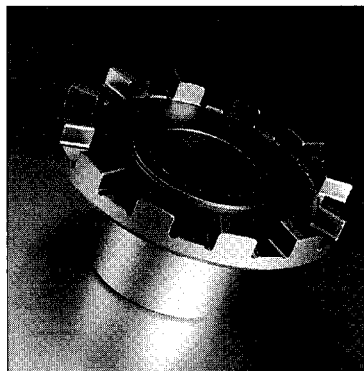


Bild 6 Synchronringe für Außen-Synchronisierung.

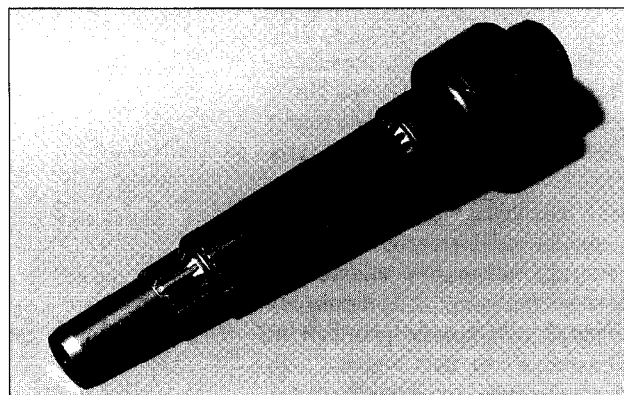
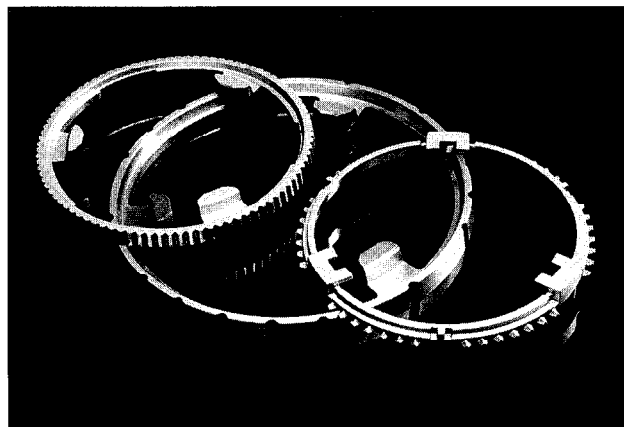


Bild 7 Doppelt keilwellenverzahnte Antriebswelle.

Bild [6]: Thyssen Gear

metrien wie Hinterstellungen und unsymmetrische Teilungen zu realisieren sind.

Die ständige Weiterentwicklung von Getrieben für Nutzfahrzeuge im Hinblick auf das Reduzieren der

Schaltwege und das Erhöhen der zu übertragenden Momente führt zur Gestaltung von zusätzlichen Funktionselementen, die in Synchronringe integriert sein müssen. Damit steigen die Komplexität und die Feingliedrigkeit derartiger Werkstücke (Bild 6). Der Zwang, diese Werkstücke auch in Serie wirtschaftlich fertigen zu können, ist für die moderne Fertigungstechnik eine große Herausforderung. Das Sintern scheidet in vielen Fällen aufgrund extremer Querschnittsunterschiede und Anforderungen an die Festigkeit des Werkstücks als Herstellverfahren aus. Auch das Feinschneiden kommt dann nicht in Betracht, wenn die Synchronringe in axialer Richtung durch Funktionselemente stark gegliedert sind. Hier kann das Präzisions-schmieden als Kombinationsverfahren von Warmumformen und Kaltprägen hohe konstruktive Anforderungen erfüllen. Neben engen Toleranzen der Kuppelverzahnung wird eine hohe Genauigkeit in der Lage der Zahndächer erreicht. Sofern die Übergangsradien zum Ringkörper schmiedetechnischen Erfordernissen angepaßt werden, können feingliedrige Nocken, Laschen oder Ölnuten gestaltet werden.

Verzahnte Antriebswellen

Wären die bisher beschriebenen Anwendungsbeispiele durch eine kombinierte Warm-/Kaltumformung erzeugt worden, so lassen sich je nach Bauteilwerkstoff und -gestalt auch allein durch Kaltumformung Präzisionsbauteile herstellen. Vor allem gilt dies für die Bauteilgruppe „Getriebewellen“, die, sofern sie keine Hinterschneidung aufweisen, den klassischen Einsatzfall für das Kaltfließpressen bilden. In Anlehnung an die bisher vorgestellten

Beispiele bietet die Umformtechnik auch bei derartigen Bauteilen die Möglichkeit, einbaufertige Nebenelemente mit anzubringen, die sich spanend nur mit erhöhtem Aufwand realisieren lassen. So können Zahnwellenprofile mit Evolventenflanken unterschiedlicher Durchmesser und großer Verzahnungslänge (bis 120 mm) mit einer Rundlaufgenauigkeit zwischen 0,05 bis 0,1 mm stufenarm und wirtschaftlich hergestellt werden, Bild 7. Sowohl hinsichtlich der Maß- und Formgenauigkeit als auch hinsichtlich der geforderten Oberflächenqualität ist die Verzahnung einbaufertig. Die Verzahnungsgeometrie kann abhängig vom Wellendurchmesser nahezu beliebig gewählt werden. Kleinere Eingriffswinkel der Verzahnung ($< 30^\circ$), die für walzende Umformverfahren im Hinblick auf die Standzeit der Walzwerkzeuge problematisch sind, sind für das Kaltfließpressen keine Hürde. Auch können mehrere Verzahnungen unterschiedlicher Durchmesser und Verzahnungsgeometrie auf einer Welle angebracht werden, wie es die doppelt keilwellenverzahnte Antriebswelle in Bild 7 anschaulich zeigt.

Literatur

- [1] Lechner, G.; Naunheimer, H.: Fahrzeuggetriebe – Grundlagen, Auswahl, Auslegung und Konstruktion. Berlin u. a.: Springer-Verlag, 1994.
- [2] Schober, F.: Gesenk zum Warm-schmieden von Kegelrädern. Deutsches Patent DE 1037817, 1953.
- [3] Weißmann, G.; Prospischil, R.: Neue präzisionsgeschmiedete Bauteile für Kraftfahrzeuge. ATZ 84 (1982), Nr. 5.
- [4] Hammersen, H.; Endter, H.: Einbaufertige Kegelräder. Industrie-Anzeiger 109 (1987), Nr. 77, S. 14–16.
- [5] Lindner, H.: Präzisionsschmieden, ein Sonderverfahren der Warmformgebung. Technische Rundschau 77 (1985), Nr. 45, S. 24–29.
- [6] Witt, S.: Die Vielfalt unterschiedlicher Bauteile und die entsprechenden schmiedetechnischen Fertigungsverfahren bei der Herstellung von Getriebeteilen. Thyssen Technische Berichte (1988), Nr. 2, S. 355–359.
- [7] Weißmann, G.: Präzisionsgeschmiedete Fahrzeuggetriebeteile. VDI-Berichte 878. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1991, S. 403–424.
- [8] Weißmann, G.; Hammersen, H.: Präzisionsschmieden – die wirtschaftliche Herstellung von einbaufertigen Verzahnungen und komplexen Formelementen. Automobilindustrie 27 (1982), Nr. 2.