

UMGEFORMTE VERZÄHNUNGEN FÜR GETRIEBE UND ANTRIEBSSTRANG

Im Automobil werden Verzahnungen häufig im Antriebsstrang als Kraftübertragungselemente eingesetzt. Hirschvogel gelingt es, Steckverzahnungen durch Umformen einbaufertig herzustellen. So kann durch Schmieden gegenüber der spanenden Bearbeitung eine Verringerung der Baulänge und der Kosten bei gleichzeitig günstigem Faserverlauf erzielt werden. Möchte man Steckverzahnungen in Sacklöcher einbringen, muss man nicht mehr auf den teuren Räum- oder Stoßprozess ausweichen.



AUTOREN



DIPL.-ING. (FH) TOBIAS HOFMANN
ist Entwickler mit Schwerpunkt
Verzahnung bei der Hirschvogel
Umformtechnik GmbH in Denklingen.



DR.-ING. STEPHAN WEIDEL
ist Leiter der Abteilung Forschung
und Entwicklung bei der Hirschvogel
Umformtechnik GmbH in
Denklingen.



DR.-ING. HANS-WILLI RAEDT
ist Hauptabteilungsleiter Produkt-
entwicklung der Hirschvogel
Umformtechnik GmbH in Denklingen.

VORTEILE DES SCHMIEDEPROZESSES

Verzahnungen sind häufig angewendete Maschinenelemente im Automobil. Ihre Hauptanwendung liegt im Getriebe (Gang- und Planetenräder) sowie im Antriebsstrang (Drehmomentübertragung Welle/Nabe, Lamellenkupplungen). Aufgrund ihrer komplexen Form ist die Herstellung dieser Elemente fertigungstechnisch recht aufwändig und damit teuer.

Gelingt es, Steckverzahnungen durch einen umformtechnischen Vorgang einbaufertig herzustellen, so kann aufgrund der höheren Wirtschaftlichkeit der umformenden Fertigung eine Kostensenkung erzielt werden. Auch das Vorverzahn von Laufverzahnungen mittels umformtechnischer Verfahren verspricht eine Senkung von Gesamt-Fertigungskosten.

In diesem Beitrag stellt Hirschvogel die Möglichkeiten der umformenden Herstellung [1] von Verzahnungen anhand verschiedener Beispiele aus der Serienproduktion wie aus dem Entwicklungsstadium dar. Neben den Kostenpotenzialen weisen diese Fälle noch weitere technische Vorteile auf, wie zum Beispiel Verringerung der Einbaulänge (Wegfall Zerspanwerkzeugauslauf), Monoblock-Bauweisen und Herstellung von Geometrien, die zerspanend gar nicht herstellbar sind (Zugänglichkeit, Verzahnung im Sackloch). Aus dem gesamten Spektrum der Massivumformung (Warm-, Halbwarm- und Kaltumformung) und der Bearbeitung zeigen diese Beispiele, wie Kostensenkungspotenziale erschlossen und technische Vorteile realisiert werden können.

Eine Hauptaufgabe von Verzahnungen besteht darin, in Form von Zahnrädern Drehzahl und Drehmoment von einer Achse auf eine andere zu übertragen und dabei gleichzeitig zu wandeln. Ein weiteres wesentliches Anwendungsgebiet von Verzahnungen liegt in der Gruppe der Pass- oder Steckverzahnungen. Dabei finden in den meisten Getrieben mehr Steckverzahnungen als Zahnräder Anwendung. Aufgabe dieses Maschinenelements ist die Übertragung von Drehmoment auf der gleichen Achse. So werden zum Beispiel die feststehenden Gangräder eines Getriebes mittels Steckverzahnung mit der Welle verbunden. Ein weiteres Anwendungsgebiet von Steckverzahnungen ist der Antriebsstrang, zum Beispiel die Schafte von Gleichlaufgelenken, Radnaben

von angetriebenen Rädern, Anschlusssteile der Kardanwelle etc. Dabei stellt die umformtechnische Herstellung dieser Verzahnungen ein besonders wirtschaftliches Verfahren dar, welches auch technische Vorteile bietet, die nachfolgend aufgezeigt werden sollen.

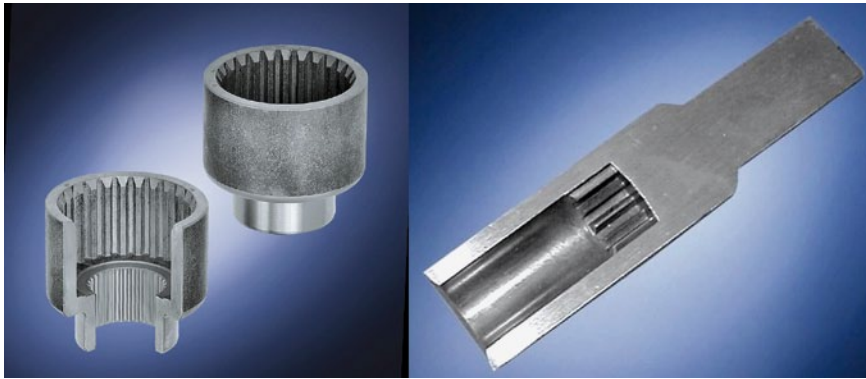
UMFORMTECHNISCHE GRUNDLAGEN

Die Massivumformung stellt ein überaus wirtschaftliches Verfahren zur Herstellung komplexer Bauteile in großen Stückzahlen bei kürzesten Taktzeiten dar. Darüber hinaus zeichnen sich Umformprozesse durch eine hohe Werkstoffausnutzung sowie günstige mechanische Werkstoffeigenschaften der hergestellten Bauteile aus, insbesondere bei dynamischer Beanspruchung.

Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal innerhalb der verschiedenen Massivumformverfahren ist die Temperatur der Rohlinge zu Beginn der Umformung. Bei der Warmumformung von Stahlwerkstoffen werden diese auf Temperaturen von über 1200 °C erwärmt. Dadurch wird der Kraftbedarf verringert und das Umformvermögen vergrößert. Bei der Kaltumformung besitzt der Rohling zu Beginn der Umformung Raumtemperatur. Da keine Schwindung oder Verzunderung auftritt, sind Form- und Maßhaltigkeit kaltumgeformter Bauteile größer als bei vergleichbaren Schmiedestücken. Allerdings ist die Gestaltungsfreiheit der Pressteile bei der Kaltumformung gegenüber der Warmumformung eingeschränkt. Bei der Halbwarmumformung bewegt man sich bei der Umformung von Stahl in einem Temperaturbereich von 600 bis etwa 900 °C. Ziel der Halbwarmumformung ist es, die Vorteile des Kaltfließpressens mit denen der Warmumformung zu verbinden.

UMFORMTECHNISCHE HERSTELLUNG VON VERZAHNUNGEN

Heutige Genauigkeitsanforderungen an Steckverzahnungen bewegen sich in einem Bereich der Qualitäten 8 bis 9 (nach DIN 5480), was mit der heutigen Technik beim Umformen darstellbar ist. Um die Genauigkeiten beim Pressen von Verzahnungen weiter zu erhöhen, müssen optimale Voraussetzungen bei Umformbeginn herrschen. Dies kann zum Beispiel durch eine Zwischenzerspannung erreicht



1 Abtriebsflansch und Schieberwelle



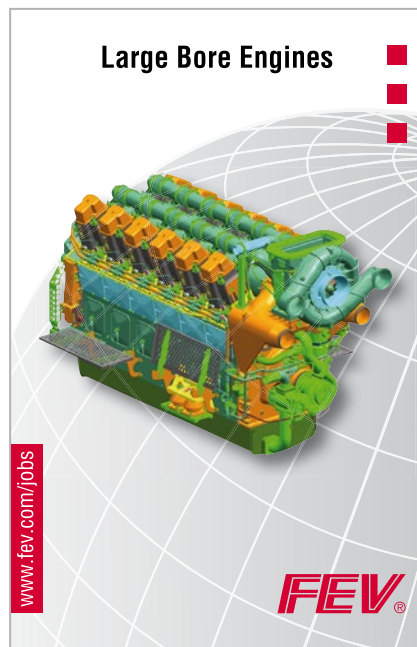
2 Lamellenträger

werden. Hierdurch werden etwaige Volumenschwankungen, die sich negativ auf die Qualität der Verzahnung auswirken könnten, durch vorgeschaltete Prozesse eliminiert.

Auf die Gesamtqualität der Verzahnung bezogen stellt die Qualität 7 (nach DIN 5480) zurzeit die beste Qualität dar, die großtechnisch prozesssicher zugesagt werden kann. Dabei werden die notwendigen Werkzeuge zwei oder drei Qualitätsstufen genauer gefertigt als die Verzahnung des späteren Fertigteils. Manche Einzelmerkmale der Verzahnung wie zum Beispiel die Teilung werden beim Pressvorgang fast identisch auf das Werkstück übertragen. So ist es durchaus möglich, Einzelabweichungen im Bereich der Qualität 5 zu erreichen. Deshalb ist es wichtig, die Verzahnungsqualität auf die Funktion der Bauteile abzustimmen. So macht es in bestimmten Fällen Sinn, von der starren Norm etwas abzuweichen und die Gewichtungen der Einzeltoleranzen bewusst in Richtung Funktionsrelevanz zu verschieben, um optimale Bauteile hinsichtlich Funktionserfüllung und Kosten zu generieren.

Welche Umformart zur Erzeugung der Verzahnung herangezogen wird, hängt sehr stark vom Bauteil selbst ab. Durch die Kombination von Warm- und Kaltumformverfahren können sowohl komplexe Geometrien als auch die geforderten Genauigkeiten, zum Beispiel durch ein nachgeschaltetes Kaltpressen der Verzahnung, erreicht werden. Einsparpotenzial ergibt sich dann, wenn auf Investitionen in meist teure Wälzfräsmaschinen verzichtet werden kann oder das zerspanende Einbringen der Verzahnung nur durch großen Aufwand oder Spezialverfahren möglich

ist. Ebenso ermöglichen geometrisch günstige Ausführungen, die sich durch die Umformung ergeben können, Einsparpotenziale durch kleiner ausfallende Bauteile.



PRAXISBEISPIEL 1 – STECKVERZÄHNUNGEN

Während Wellen meist am Schaftende eine Außenverzahnung erhalten, wird bei Naben eine Innenverzahnung häufig durch einen Räumprozess eingebracht. Dazu muss die Verzahnung aber von beiden Seiten gut zugänglich sein. Will man Steckverzahnungen in Sacklöcher einbringen, muss man oft auf einen teuren Stoßprozess ausweichen, weil hier ein Räumen durch die

fehlende Zugänglichkeit verhindert wird. Hier bietet die Umformung eine sowohl qualitativ als auch kostenseitig interessante Alternative wie nachfolgende Beispiele aufzeigen sollen.

Ein Abtriebsflansch, 1, besitzt eine Verzahnung, die ohne Auslauf bis an den Boden des Bauteils reicht. Eine solche Ausführung ist mit spanenden Methoden wirtschaftlich nicht darstellbar. Die Schieberwelle mit Innenverzahnung am Napfboden wird in einem dreistufigen Kaltumformprozess hergestellt. Da sich aufgrund des Fertigungsverfahrens hier praktisch keine Ein- und Auslaufbereiche ergeben, kann die Verzahnung auf ihrer gesamten Höhe verwendet werden. Sowohl die Verzahnung als auch der daran angrenzende Napf sind rein umformtechnisch hergestellt, so dass hier eine sehr gute Werkstoffausnutzung realisiert werden konnte. Dies stellt einen zusätzlichen positiven Aspekt bei immer knapper werdenden Ressourcen dar.

Die absolute Größe gepresster Verzahnungen spielt im Hinblick auf die Bearbeitungsgeschwindigkeit keine Rolle, 2. Sowohl die große Innen- als auch die kleine Außenverzahnung wurde umformtechnisch erzeugt. Dieses Bauteil wird in einer Kombination aus Halbwarm- und Kaltumformung plus Zerspanung einbaufertig hergestellt. Während die kleinere Schaftverzahnung aufgrund des geringeren Durchmessers induktiv gehärtet werden muss, kann auf diesen Arbeitgang bei der größeren Verzahnung im Topf verzichtet werden. Trotz der lokal hohen Druckbelastungen aufgrund der schmalen Kupplungslamellen reicht hier die Kaltverfestigung durch den Umformprozess aus. Der Lamellenträger ist als ein zentra-



3 Endstück

Auslaufzonen entfallen und zu einer deutlichen Verkürzung des Bauteils führen. Das Beispiel Endstück in 3 zeigt ein Anschlussstück, das durch die Umstellung von Fräsen auf Umformung in seiner Länge um zirka 25 % verkürzt und dabei die mögliche Belastung sogar noch erhöht werden konnte. Die Vorform dieses Bauteils wird in einem mehrstufigen Halbwarmprozess und anschließend die einbaufertige Verzahnung mittels Kaltfließpressen erzeugt.

PRAXISBEISPIEL 2 – HIRTHVERZÄHNUNG

Mit einer Stirnverzahnung lassen sich auf engstem Raum maximale Drehmomente übertragen. Bei einer radialen Anbindung der Zähne, 4 Mitte, lässt sich dieses Potenzial sogar noch steigern. Diese sogenannte Hirthverzahnung ist bereits lange bekannt. Ein Grund, der eine größere Verbreitung

dieses Maschinenelements bisher verhindert hat, sind die Kosten bei der Herstellung. Mit der Möglichkeit, die Hirthverzahnung in ausreichender Qualität umformtechnisch darzustellen, steht einer großtechnischen Verbreitung nichts mehr im Weg.

Während bei einer zerspanend hergestellten Hirthverzahnung die Zähne stets gegenüber den angrenzenden Geometrien hervorstehen müssen, kann bei einer gepressten der Platzierungsort praktisch frei gewählt werden. So können zum Beispiel die Zähne des tendenziell schwächeren Bauteils durch eine radiale Anbindung der Zähne stabiler gestaltet werden. Auch die Ausformung der Zahnflankenwinkel, die in der bisherigen Praxis meist 60° betragen, sind bei einer umformtechnischen Darstellung kaum noch Einschränkungen unterworfen. Auch Balligkeiten in axialer sowie radialer Ausdehnung sind bei Bedarf möglich.

les Bauteil in eine Verteilerkupplung eingebaut, die für die Drehmomentverteilung zwischen Vorder- und Hinterachse zuständig ist.

Durch die umformtechnische Herstellung von Verzahnungen können Ein- und



4 Bauteile mit Stirnverzahnung (Hirthverzahnung)

Weltweit beste Verbindungen



Die NORMA Group bewegt sich in den Spitzenregionen des weltweiten Marktes für Verbindungs- und Befestigungstechnologien. Dank der vielfältigen Erfahrung ihrer internationalen Gesellschaften hat sich die Unternehmensgruppe als anerkannter Spezialist, Problemlöser und innovativer Entwicklungspartner etabliert. Die Vielzahl unserer qualitativ hochwertigen Produkte ermöglicht nahezu jede denkbare Verbindung mediumführender Leitungen und Rohre. Schließlich wissen wir, dass der Erfolg des Ganzen an jede einzelne Verbindung gekoppelt ist.



powered by

ATZ

 Springer Automotive Media

Jetzt unter

www.careers4engineers.de

über die Veranstaltung informieren
und kostenlos anmelden!

Topjobs für Ingenieure!

Einstieg · Umstieg · Aufstieg

Recruiting Highlights 2011

07. Mai: Stuttgart

Jetzt vormerken:

19. November: Chemnitz

03. Dezember: Darmstadt

careers **4**engineers
automotive

Die Karriere-Events für Automobil-Ingenieure – www.careers4engineers.de

	GEWICHTSPARSPARIS ROHTEIL/FERTIGTEIL	PLATZERSPARNIS/ BAUTEILVERKÜRZUNG
ABTRIEBSFLANSCH	≈ 20 % / –	≈ 11 %
SCHIEBERWELLE	≈ 15 % / –	–
ENDSTÜCK	≈ 20 % / ≈ 14 %	≈ 25 %
STIRNVERZAHNTE BAUTEILE	≈ 10 – 20 % / ≈ 15 %	≈ 10 – 20 %
VORGEPRESSTE LAUFVERZÄHNUNGEN	≈ 8,5 % / –	–

5 Prozentuale Einsparungen bei den Laufverzahnungen sowie den anderen Verzahnungsarten

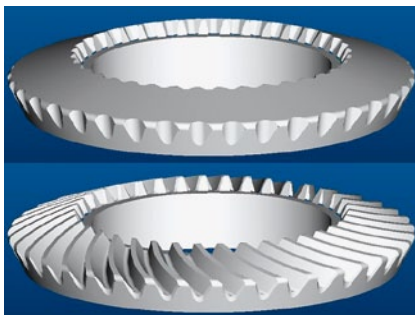
PRAXISBEISPIEL 3 – LAUFVERZÄHNUNGEN

Auch vorgepresste Laufverzahnungen mit komplexer Geometrie bieten Einsparpotenzial hinsichtlich Material und somit Ressourcen. 5 zeigt die prozentualen Einsparungen bei den Laufverzahnungen sowie den anderen Verzahnungsarten. Durch den geringeren Einsatz von Werkstoff sinkt auch gleichzeitig das notwendige Zerspanvolumen. Dies wirkt sich positiv auf die Bearbeitungszeit und den Werkzeugverschleiß aus. Die Vorverzahnung kann in bestimmten Fällen mit geringfügig höheren Kosten umformtechnisch im Rohteil eingebracht werden.

Langsam drehende Differenzialräder können bereits heute mit einbaufertig gepresster Laufverzahnung hergestellt werden, weil es hier durch die niedrigen Drehzahlen kaum Geräuschprobleme gibt. Normale Laufverzahnungen haben aufgrund der höheren Drehzahlen Qualitätsanforderungen, die meist nur durch Schleifen, Honen oder Läppen erreicht werden.

PRAXISBEISPIEL 4 – ENTGRATEN

Problematisch bei der zerspanenden Herstellung von Laufverzahnungen sind die entstehenden Grate oder scharfen Kanten. Aus diesem Grund werden mit teilweise



6 Tellerrad-Rohling mit angepressten Fasen

großem Aufwand die beim Zerspanen entstandenen Kanten in einem zusätzlichen Arbeitsschritt angefasst. Mit Hilfe eines neuen Konzepts zur umformenden Herstellung der Fasen an einem Tellerrad-Rohling, 6, könnte dieser kostenintensive Prozessschritt eingespart werden. Da die Fasen deutlich geringeren Anforderungen genügen müssen als die Zahnflanken, können diese bereits umformtechnisch im Rohteil erzeugt werden. Der Austritt des Zerspanwerkzeugs erfolgt dann nicht mehr in den ursprünglichen Stirnflächen der Zahnluken, sondern in den vorgepressten Fasen.

Die Gratbildung wird dadurch minimiert oder bestenfalls sogar verhindert. Das umformtechnische Einbringen der Fasen ist dabei um ein Vielfaches günstiger als das nachträgliche Entfernen durch einen mechanischen Zusatzprozess. Außer der Erstausrichtung der Drehlage beim Weichzerspanen ändert sich am bestehenden Fertigungskonzept nichts.

FAZIT

Umgeformt hergestellte Verzahnungen weisen große Potenziale auf: Sie erlauben es, Bauteile wirtschaftlicher, bauraumoptimiert oder mit höherer Lebensdauer auszuführen. Dies erfordert eine enge Abstimmung zwischen Kunde und Massivumformer, die bei einer frühen Einbindung in den Produktentwicklungsprozess optimal gegeben ist.

LITERATURHINWEIS

[1] Raedt, H.-W.: Hochleistungsbauteile aus massivumgeformten Werkstoffen. In: ATZ 108 (2006), Nr. 9, S. 732 – 737



DOWNLOAD DES BEITRAGS
www.ATZonline.de



DOWNLOAD DES BEITRAGS
www.MTZonline.de

riesig

die Federvielfalt mit 11.987
Baugrößen direkt ab Lager,
oder individuell bis 12,0 mm
Drahtstärke.

federn

GUTEKUNST
FEDERN

Immer die passende Feder
www.federnshop.com

07123 960-192