

Powerful, Light-Weight and Cost Effective: Constructed Camshafts

The Neumayer Tekfor Gruppe is a global partner for highly developed product solutions in the automotive industry. With several locations in Europe, North America, South America, and most recently in India, Neumayer Tekfor can boast its a world-wide presence. The company's strength can be found in strong innovation and excellent manufacturing expertise, which originated in forming technology.



Leistungsstark, leicht und kostengünstig: Gebaute Nockenwellen

Dipl.-Ing. Matthias Bechtold und
Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Ekkehard Körner, Hausach

Die Neumayer Tekfor Gruppe ist ein globaler Partner für hochentwickelte Produktlösungen in der Automobilindustrie. Mit mehreren Standorten in Europa, Nordamerika, Südamerika und Indien realisiert das Unternehmen weltweite Präsenz. Die Stärken sind Innovationskraft und Fertigungs-Know-how, das in der Umformtechnik ihren Ursprung hat.

Schwerpunkte liegen neben der Mutterfertigung bei Komponenten und Baugruppen des Antriebsstrangs, der Getriebe- und der Motorentechnik. Letztere Produktgruppe wird dominant durch einbaufertige Pleuel und komplette Nockenwellen geprägt. Schon in den 90-er Jahren konnten die ersten Pkw mit modernen gebauten Nockenwellen (Bild 1) ausgerüstet werden, als Ablösung der schwereren Monoblockkonstruktionen.

Momentan setzt sich dieser Trend weiter fort, sodass sich der Markt in Richtung einer 100 %-Verbauung bewegt, selbst erste Lkw-Nockenwellen befinden sich als gebaute Varianten in der Projektierung. Der vorhandene Trend zu hydraulischen bzw. elektromagnetischen Lösungen für den Ventiltrieb hat die in ihn gesteckten Erwartungen derzeit noch nicht erfüllt. Die hochdynamischen Abläufe

des Ventiltriebs, die zudem unter höchsten Zuverlässigkeitsansprüchen erfüllt werden müssen, bedürfen einer weiteren Entwicklung, bis die aktuelle direkte mechanische Kopplung endgültig abgelöst werden kann.

Für die Leistungsstärke der abgebildeten Produkte setzt das Unternehmen ein patentiertes ENCAM-Fügeverfahren ein. Das Fügeverfahren arbeitet komplett im elastischen Bereich, fertig geschliffene Einzelnocken und weitere Komponenten können ohne anschließende Nacharbeit hochgenau und flexibel gefügt werden. Diese Nockenwellen sind, abhängig vom Design, bis zu 45 % leichter als konventionell geschmiedete Nockenwellen. Innovative und funktional optimierte Endstückanbindungen an das Rohr gewähren eine zusätzliche Gewichtsreduzierung.

Die Umformtechnik konnte sich auch bei den neuen gebauten Nockenwellen als primäres Fertigungsverfahren etablieren, wobei hierfür mehrere Gründe sprechen. Für die Nocken zählen die Aspekte der Massenproduktion, für den Nockenträger die Kostenvorteile des umformtechnisch hergestellten Rohrs. Unterstützt wird dieser Trend durch die parallele Einführung der „Vielventiltechniken“ pro Zylinderkopf, die das Mengengerüst der pro Fahrzeug benötigten Teile erheblich vergrößern.

Das Grundkonzept der Fertigung einer gebauten Nockenwelle besteht aus einem Rohr, auf das Einzelnocken in korrekter Position aufgebracht werden. Endstücke, Kettenräder bzw. Endnocken für weitere Funktionsumfänge werden je nach Grundfunktion (Einlass-, Auslassventilgruppe) und



Beispiele: Gebaute Nockenwellen für 4- und 12-Zyl. Motoren.

Motorenbauart ergänzt. Die Nocken selbst können heute mit hoher Ausbringung mehrstufig warm gepresst werden. Je nach gewünschtem Nockenmaterial wird hierzu unterschiedlich induktiv erwärmt, anschließend geschert, mehrstufig umgeformt und in einer weiteren Operation gelocht. Nach der Wärmebehandlung erfolgt anwendungsfallspezifisch die spanende Bearbeitung der Innenkontur. Die Teile sind dann montagefertig. Die unsymmetrischen Geometrien der Nocken haben auch beim Umformen un-

unter-schätzen ist die Geometrievielfalt der Nocken (Bild 2) in Bezug auf den Nockenkurvenverlauf und weitere Zusatzfunktionen wie Bundanschläge zur axialen Positionierung der Nockenwelle oder weitere Antriebsfunktionen, wie in Bild 4 links an einem dreiflügeligen Benzinpumpennocken dargestellt.

Jede Kurvengeometrie setzt bei den geringen Bearbeitungszugaben für das Schleifen voraus, dass die Prozesskette des CAD, CAM und CAQ steht. Nach dem Messen einer gepressten Kontur folgt mit der daraus abgeleiteten Kompensation der thermischen und mechanischen Dehnungen das wiederholte Abarbeiten einer Optimierungsschleife aus Werkzeugkonstruktion, -fertigung, und -vermessung.

Auch die Problematik des Wanderns von Schereinzügen ist inzwischen sehr genau vorausbestimmbar. Mittels so genannter „Pointtracking“-Funktionen werden Einzelpunkte vom Rohteil (kritische Scherzonen) beginnend über den gesamten Umformprozess verfolgt. Reagiert werden kann über andere Rohteildimensionierungen bzw. über andere Stadienfolgen. Kritische Bereiche sollen in

P1, P2, P4 zuverlässig in die Bohrung verlagert wird und damit später aus dem Bauteil entfernt wird (Bilder 3 links). Schergrate für die „unteren“ Bereiche P5, P6, P8 verbleiben im Butzenbereich und werden durch das Lochen sicher entfernt (Bild 3 rechts). Der Schergrat in den Bereichen P3 und P7 ist in Form von Abdrücken an den Nocken immer sichtbar, aber an dieser Stelle als unschädlich bekannt.

Für spätere Analysen an gepressten Teilen ist die gleiche Methode in umgekehrter Reihenfolge möglich („Reverse PointTracking“), um Fehler auf bestimmte Ursachen zurückzuführen bzw. vermeintliche Ursachen von vornherein auszuschließen.

Ein weiterer klassischer Vorteil der Umformtechnik, nämlich die Funktionsintegration mehrerer Bauteile in einer einzigen Einheit (Bild 4) wird mit den Kunden häufig diskutiert und realisiert. Die entscheidenden Vorteile sind bei der Nockenwelle weniger in der technischen Funktionalität, sehr wohl aber in den damit verbundenen Kostenreduktionen zu sehen. Einsparungen bei Fließpressvorgängen wie das Vollvorwärtsfließpressen, nicht notwendiges Handling zweier Bauteile beim Pressen, bei der Bearbeitung und der Aufwand für die Montage der Subbaugruppe stellen erhebliche Kosteneinsparungspotenziale dar.

Diese Endstücke tragen Kettenräder für den eigenen Antrieb, versorgen Nockenwellenverstellereinheiten mit geregelterm Drucköl oder integrieren Antriebe z. B. für die Vakuumpumpe.

Einige Nockenwellen weisen Einbuchtungen auf (Bild 1, links). Diese sorgen bei der Motorenendmontage, bei der komplett vormontierte Zylinderköpfe mit den Ventiltriebseinheiten auf dem Motorblock befestigt werden, für die Zugänglichkeit zu den Zylinder-



Bild 2: Unterschiedliche Nockengeometrien.

symmetrische Stoffflüsse zur Folge. Mit der bei Neumayer Tekfor weltweit eingesetzten Simulationssoftware DEFORM werden diese Untersuchungen erleichtert und können in verschiedensten Varianten vorab theoretisch begutachtet und optimiert werden. Nicht zu

später unproblematische Zonen des Bauteils, z. B. in den Lochabfall oder in später zu bearbeitende Flächen, wandern und können vor dem Serienanlauf korrigiert werden.

Bild 3 zeigt, dass der beim Warmscheren entstehende Grat für die „oberen“ Bereiche

derkopfschrauben. Hierzu werden die Wellen in eine spezielle Position gedreht, die dann ihrerseits Freiräume für das Ansetzen der Drehmomentschlüssel freigeben.

Umformtechnische Herausforderung ist, dass der Einbuchtungsverlauf in Längsrich-

tung idealerweise „rechteckig“ verläuft, um eine möglichst enge Positionierung der Nocken zu ermöglichen, was bei kleiner werdenden Hubräumen und Zylinderbohrungsabständen zum Tragen kommt. Abfallende Bereiche der Einbuchtung reduzieren dann zusätzlich die Sicherheiten der Fixierung der Nocken auf dem Wellengrundkörper.

Die Einbuchtungs-Werkzeuge setzen auf das Rohr auf, wobei das gesamte Rohr vorher gehalten sein muss. Über FEM-Untersuchungen konnten auch hier optimale Arbeitsmethoden in Bezug auf das Eindringen (Kräfte, Geometrien) und in Bezug auf axiale Vordrücke errechnet werden (Bild 5). Problem dabei ist, dass die mitigen Einbuchtungen von axialen Verschiebungen der Rohrbereich weniger positiv betroffen sind als die „Randeinbuchtungen“. Ziel ist ein für alle Seiten, d. h. in Bezug auf ihre Anwendung und in Bezug auf kostengünstige Fertigung, sinnvolle konstante Ausprägung zu schaffen.

Immer häufiger werden die hier beschriebenen ursprünglich für die Umformtechnik entwickelten Entwicklungspakete auch für anwendungstechnische Simulationen eingesetzt. In den vorliegenden Fällen der gebauten Nockenwelle konnten die fixierungstechnisch notwendigen und anwendungstechnisch auftretenden Belastungen rechnerisch kombiniert werden und mit werkstofftechnisch ertragbaren Belastungen bzw. über notwendige Nockenquerschnitte optimiert werden. Die gekoppelte Analyse erlaubt die elastisch/(plastische) Analyse mehrerer verbundener Körper wie hier von Rohr, Nocke und auf sie eingeleitete Linienbelastung durch einen

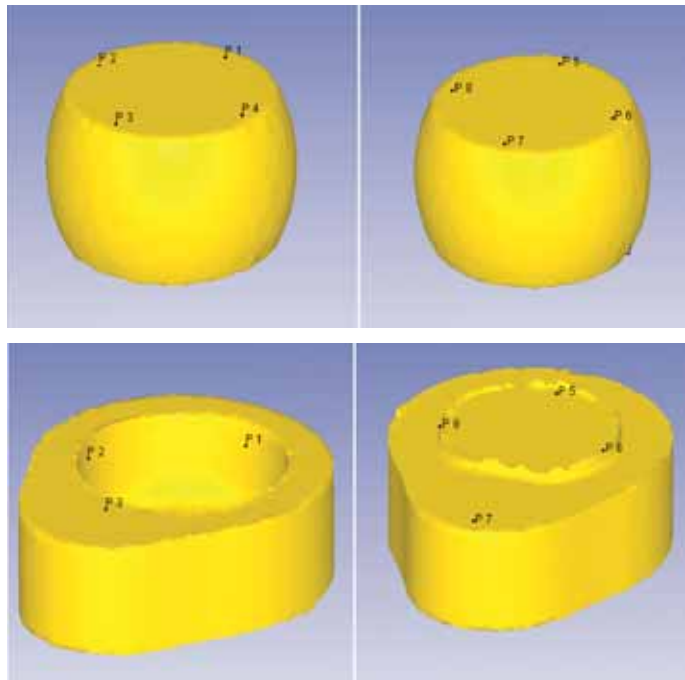


Bild 3: Simulation des Wanderns von Scherkanten im Bauteil links oberer Nocken- und rechts unterer Nockenbereich.



Bild 4: Beispiel funktionsintegrierter Nockenwellenendstücke.

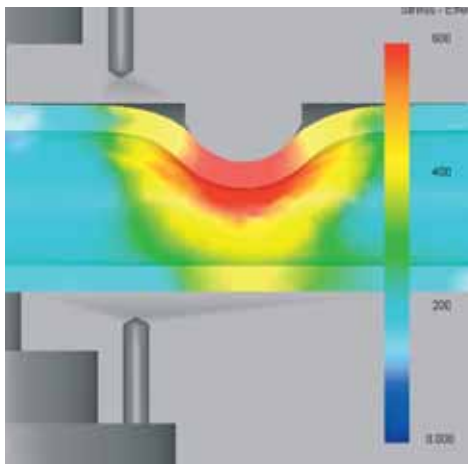


Bild 5: Werkzeug (schematisch) Nockeneinbuchtungen, Vergleichsspannung.

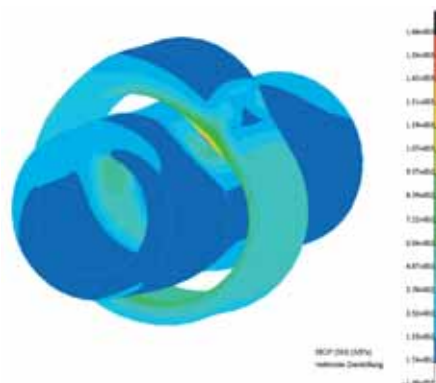


Bild 6: Nocke unter Testmoment und radialer Fixier-Vorspannung. Bilder: Neumayer Tekfor

angenommenen dritten Körper. In Bild 6 ist zu erkennen, dass zunächst nahezu am ganzen Umfang eine Vorspannung am Ring zu erkennen ist (Pressverband nach DIN 7190), die den Umformer an die klassische Vorspannungsproblematik seiner Matrizenwerkzeuge erinnert. Diese Normalspannungen können über ihre Fläche und realistische Reibwerte multipliziert werden, um die tangentialen Gegenkräfte zur Erzeugung eines Gegenmoments zur Nocke aufzubauen.

Unter Belastung werden dann Bereiche vor dem Nockenanstieg zusätzlich belastet, im Nockenabfall dagegen entlastet. Mit der Durchbiegung des Rohrs sind Kantenbereiche der Nocke zusätzlichen Belastungsspitzen ausgesetzt. Auch das Rohr selbst erfährt unter dem Einlastungsbereich des Nockens seine höchste Spannungsbelastung. Die Fixierung der Nocken auf dem Tragrohr im Hinblick auf Verdrehmomente, Durchmesserwahl, optimale Wandstärken von Rohr und Nocke können so in vielfacher Hinsicht letztendlich bezüglich der Herstellkosten optimiert werden. Mögliche in der Praxis technisch taugliche Varianten von Nockengeometrien und Rohrdimensionen sind nicht zu breit gestreut, hinzu kommt die notwendige Sicherheit unter fertigungstechnisch notwendigen Toleranzen, die durch die spanende Bearbeitung auftreten.

Erfreulich ist aber auch, dass Kunden in der engen Zusammenarbeit mit Neumayer Tekfor neue Vorstellungen z. B. bezüglich realistischer Sicherheiten dieser insgesamt erfolgreichen Baugruppe gewonnen haben und diese Projektarbeit positiv abgeschlossen werden konnte.