

ThyssenKrupp Presta Camshafts

- Entwicklung von Leichtbaunockenwellen durch alternatives Herstellungsverfahren -

VDI-Fachtagung
22.-23. November 2010

Autor: Dipl.-Ing. Jürgen Meusel

Co-Autoren: Univ. Prof. Dr.-Ing. habil. Gunter Knoll, Dr.-Ing. Sedat Tuzcu/ IST
Univ. Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Reimund Neugebauer / IWU
Dipl.-Ing. Frank Schieck, Dipl.-Ing.(FH) Jens Gentzen, Dipl.-Wirtsch.-Ing. Alexander Paul / IWU
Dipl.-Ing. Thomas Müller / VW



ThyssenKrupp Presta Camshafts



Entwicklung einer Leichtbaunockenwelle mit hoher Geometrievielfalt und Flexibilität

- **Verbundprojektpartner**
 - Fraunhofer Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik
 - Härtetechnik & Metallbearbeitung GmbH
- **Assoziierte Verbundprojektpartner**
 - Volkswagen AG, Entwicklung Dieselmotoren Wolfsburg
 - Volkswagen Sachsen GmbH
- **Projektpartner**
 - Ingenieurgesellschaft für Strukturanalyse und Tribologie mbH

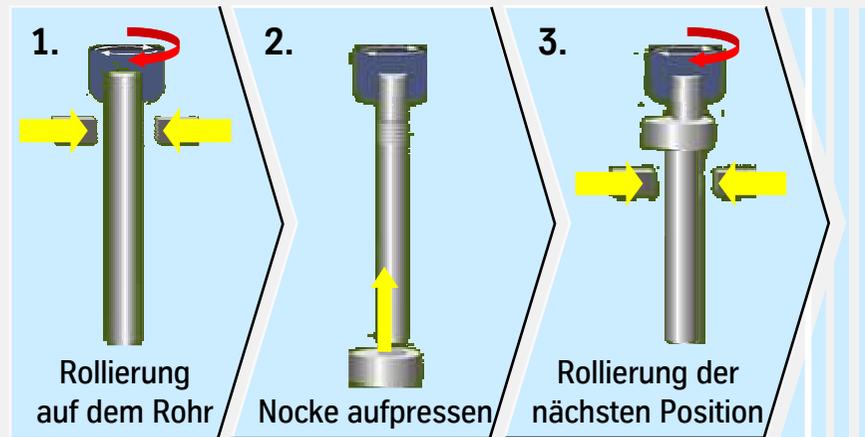


Öffentlich gefördertes Verbundprojekt mit Vernetzung der Kompetenzen aus Werkstoff-, Prozess- und Produktentwicklung

ThyssenKrupp Presta Camshafts

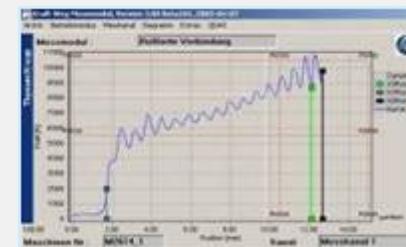
Fügeverfahren der gebauten Presta-Nockenwellen

Gewichtseinsparung durch kraft- und formschlüssigen Montageprozess



Gewichtseinsparung bis 40 % und Drehmomente bis zu 500 Nm

Montage-Center



Rückverfolgbarkeit der Qualitätsüberwachung im Fügeprozess
100 % Inline-Messung der Aufpresskraft über -weg

Entwicklung von Leichtbaunockenwellen durch alternatives Herstellverfahren
22.-23. November 2010
VDI-Fachtagung, Jürgen Meusel



Agenda

- Zielsetzung und technisches Konzept
- Konstruktive und technologische Herausforderungen und Umsetzung
- Ergebnisse aus Erprobung der Leichtbaunockenwellen
- Fazit und Ausblick

Agenda

- Zielsetzung und technisches Konzept
- Konstruktive und technologische Herausforderungen und Umsetzung
- Ergebnisse aus Erprobung der Leichtbaunockenwellen
- Fazit und Ausblick

Hauptziel:

Entwicklung einer Leichtbaunockenwelle mit hoher Geometrievielfalt und Flexibilität

Teilziele:

- Reduzierung der **Herstellkosten** um 15 %
- Reduzierung der **Masse** um 15 %
- Darstellbarkeit großer **Geometrievielfalt**
- Hohe **Flexibilität** der Fertigung

Zielsetzung und technisches Konzept

Analyse nach Presta Verfahren gebauter Serienwellen

Beispiel: VW AG
Motor 2,0l 4V CR TDI
Einlasswelle



Anzahl gefügter Komponenten
Ziel:
Bauteilreduktion

Kleiner Rohrdurchmesser
Ziel:
Funktionsverbesserung durch
höhere Biegesteifigkeit

Fertigungsaufwand Komponenten
Ziel:
einfachere, günstigere Bauteile

Aufwändige Formerzeugung
Ziel:
Höhere Formflexibilität



Zielsetzung und technisches Konzept

Lösungsansätze

Rohrdurchmesser
größtmöglich
dimensionieren für:

- Ausformbarkeit Lager
- hohe Torsionssteifigkeit
- hohe Biegesteifigkeit



statt gefügter
Lagerringe,
Radiallager
Ausformen aus
dem Rohr

Fügen von
schmiederohen
Nocken
mittels Kraftschluss

Integrierte **Funktionen**
z.B. Sechskant, Signalgeber
durch Einbringen der
Geometrie

Fügen von
dünnwandigen
Endstücken
mittels
Kraftschluss

Agenda

- Zielsetzung und technisches Konzept
- **Konstruktive und technologische Herausforderungen und Umsetzung**
- Ergebnisse aus Erprobung der Leichtbaunockenwellen
- Fazit und Ausblick

Konstruktive und technologische Herausforderungen und Lösungswege

Rohrdurchmesser größtmöglich dimensionieren

Herausforderung: Funktionsverbesserung hinsichtlich Torsion- und Biegesteifigkeit

Umsetzung: Innenhochdruckumformung (IHU) als alternatives Fertigungsverfahren ermöglicht 4 mm größeren Rohrdurchmesser

Bauweise	Ø [mm]		Widerstandsmoment [mm ³]		Übertragbare Momente [Nm]		Drillwinkel [°]	
	außen D	innen d	Biegerichtung $W_b = \frac{\pi}{32} \left(\frac{D^4 - d^4}{D} \right)$	Drehrichtung $W_t = \frac{\pi}{16} \left(\frac{D^4 - d^4}{D} \right)$	Biegemoment $M_{bw} = \sigma_{bwzul} \cdot W_b$	Torsionsmoment $T = \tau_{tzul} \cdot W_t$	$\varphi = \frac{M_t \cdot l}{G \cdot I_p}$	
							bei 120 Nm	bei 250 Nm
Presta	24,5	18	1024	2047	333	384	1,11	2,32
IHU	28,5	23,5	1223	2445	207	239	0,80	1,67

[Werte bezogen auf Wellenlänge l = 328 mm, übertragbare Momente ausschließlich für Rohr – ohne Komponenten]

	Presta-gebaut	IHU
Werkstoffe	E355	E235 mod.
σ_{bwzul} [N/mm ²]	325	169,5
τ_{tzul} [N/mm ²]	188	98



Konstruktive und technologische Herausforderungen und Lösungswege

Fügen von schmiederohen Nocken mittels Kraftschluss

Herausforderung:

- Einhaltung der Anforderungen (Drehmoment statisch & dynamisch +/- 80Nm)
- Kostenreduzierung durch Verringerung von Fertigungsaufwand bei Einzelteilherstellung und Montage (Fügeprozess)
- Schmieden von Nocken mit geringerer Gurtstärke und Nockenbreite sowie reduzierten Toleranzen

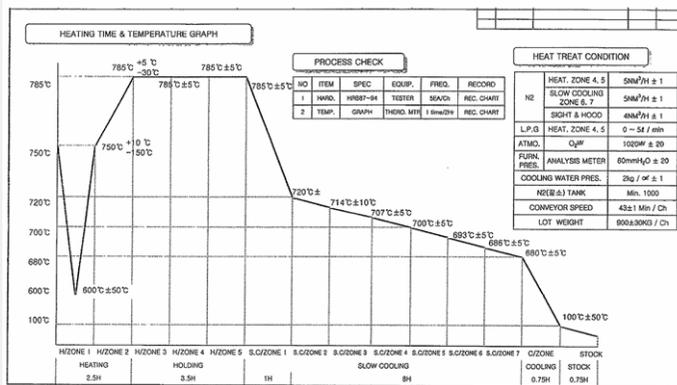
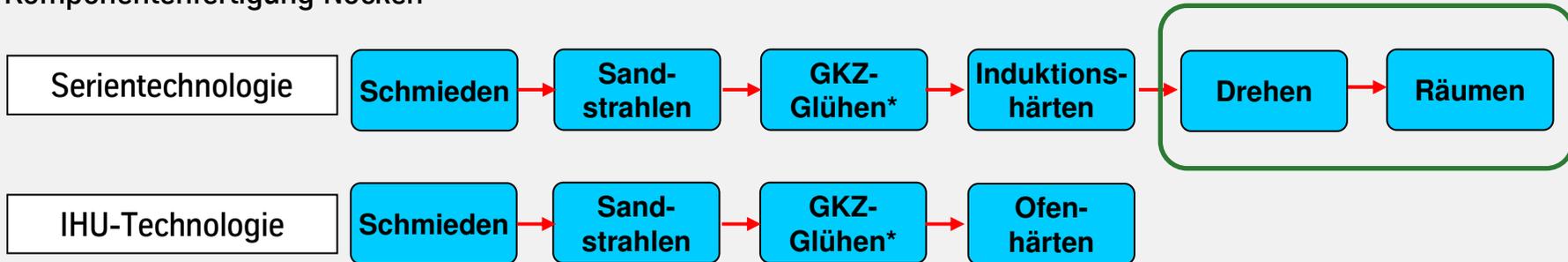


Konstruktive und technologische Herausforderungen und Lösungswege

Fügen von schmiederohen Nocken mittels Kraftschluss

Umsetzung: Verkürzung der Prozesskette durch Entfall der Innenbearbeitung

Komponentenfertigung Nocken



[* GKZ - Gluehen auf kugelige Karbide (Zementit), ca. 16-17h]



Entwicklung von Leichtbaunockenwellen durch alternatives Herstellverfahren
22.-23. November 2010
VDI-Fachtagung, Jürgen Meusel

Konstruktive und technologische Herausforderungen und Lösungswege

Fügen von schmiederohen Nocken mittels Kraftschluss

Umsetzung: Reduzierung der Fertigungstoleranzen im Schmiedeprozess

- Entwicklung einer neuen Schmiedetechnologie in Zusammenarbeit mit Nockenhersteller
- Reduzierung der Gurtdicke
- Reduzierung der Nockenbreite
- Einengung kritischer Toleranzen für IHU-Prozess (Maß-, Form- und Lagetoleranzen an Außengeometrie)

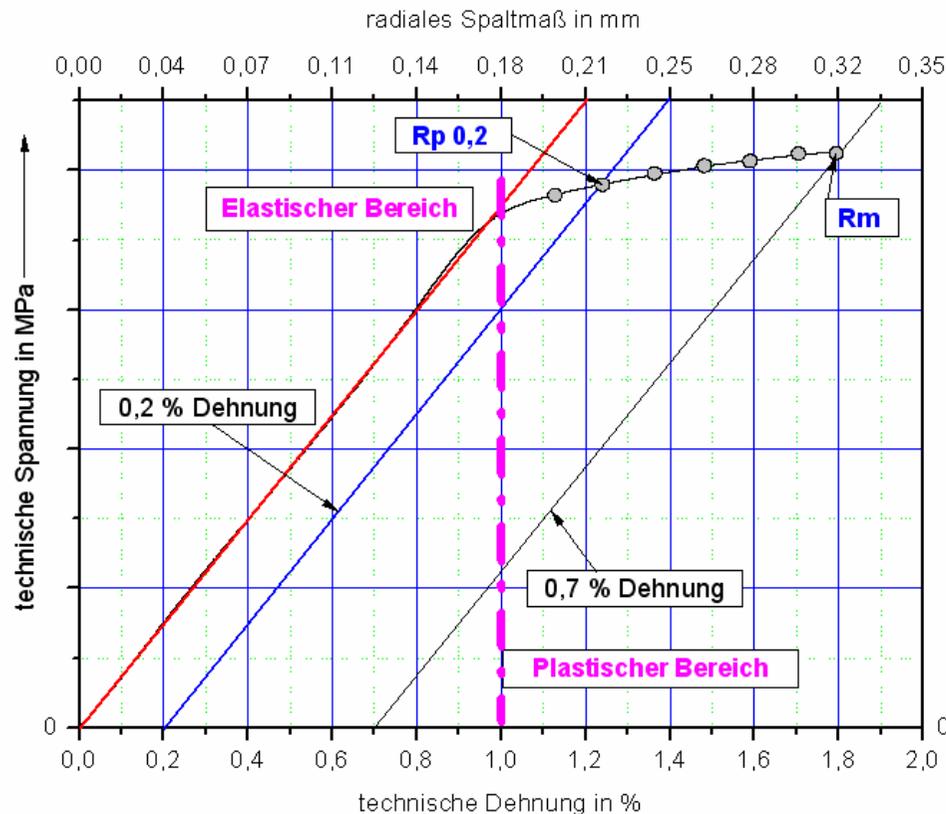
→ Ermöglicht Spaltmaßreduzierung zwischen Nocken und Werkzeug für höhere maßliche Fügequalität (Winkellage, Axiallage)



Konstruktive und technologische Herausforderungen und Lösungswege

Fügen von schmiederohen Nocken mittels Kraftschluss

Umsetzung: Auswahl eines Nockenwerkstoffes mit großem elastischen Formänderungsvermögen im gehärteten Zustand für Übertragung hoher Torsionsmomente



konventioneller
Nocken:
100Cr6
induktionsgehärtet

IHU-Nocken:
58CrV4
durchgehärtet



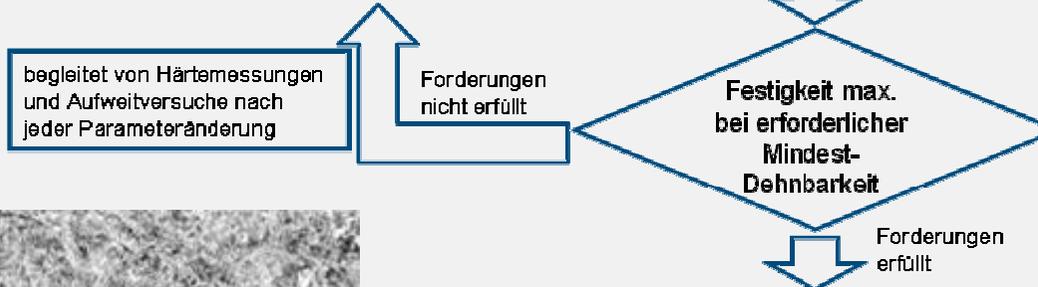
Aufnahme von mechanischen Kennwerten/
Fließkurven im gehärteten Zustand



Konstruktive und technologische Herausforderungen und Lösungswege

Fügen von schmiederohen Nocken mittels Kraftschluss

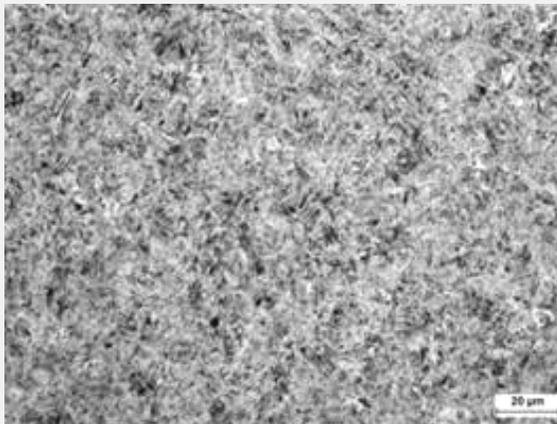
Umsetzung: Optimierung der Wärmebehandlung



Forderungen:

- Härte ≥ 56 HRC, Festigkeit max.
- Mindest-Durchmesseraufweitung
- Eigenspannungen < 500 MPa

Randschichthärten
 ↓
 Technologie für IHU:
Durchhärten



Gehärtetes Schmiedegefüge 58CrV4

Erfolgreiche Optimierung

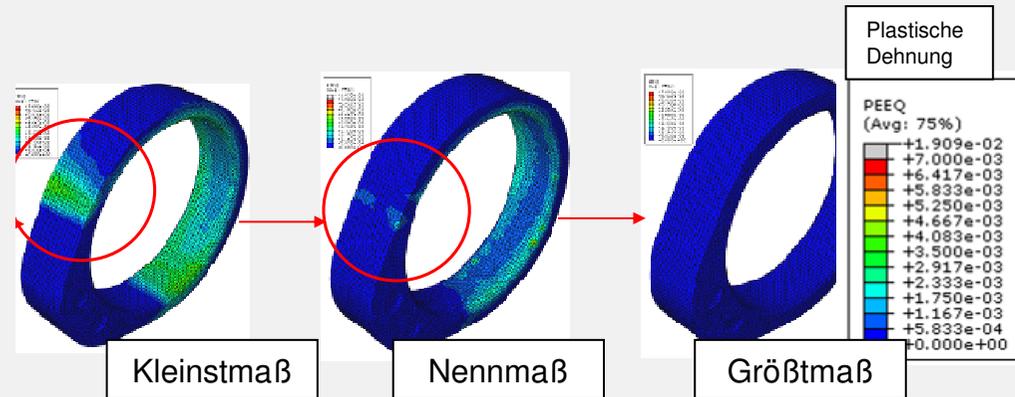


Konstruktive und technologische Herausforderungen und Lösungswege

Fügen von schmiederohen Nocken mittels Kraftschluss

Umsetzung: FEM Analyse

1. IHU-Fügeprozess mit Kennwerten für gehärteten 58CrV4
2. Einfluss der Außenkontur auf Spannungszustand
3. Ermittlung der maximalen plastischen Dehnungen



Ergebnisse aus Erprobung

1. Fügen der Nocken mit schmiederoher Innenbohrung im IHU-Prozess
2. Befestigung durch Kraftschluss und Mikroformschluss
3. statische Drehmomente von 220 Nm +/- 10% Streuung übertragbar
4. dynamisch +/- 80 Nm nachgewiesen

→ kraftschlüssiger Pressverband nachgewiesen

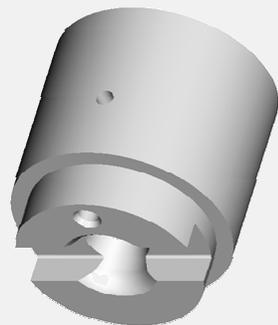


Konstruktive und technologische Herausforderungen und Lösungswege

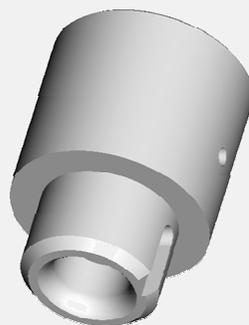
Fügen von dünnwandigen Endstücken mittels Kraftschluss

Herausforderung:

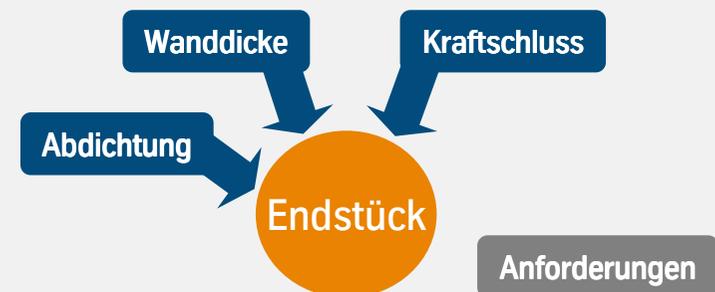
- Einhaltung der Anforderungen (Drehmoment statisch & dynamisch +/- 120Nm)
- Abdichtung zwischen Rohr und Endstück-Innengeometrie im IHU-Prozess unter Beachtung der einseitigen Rohrverkürzung durch Schrauberfreigang
- Auslegung einer Mindestwandstärke
- Fügen von Endstücken durch Kraftschluss im IHU-Verfahren



Einlass



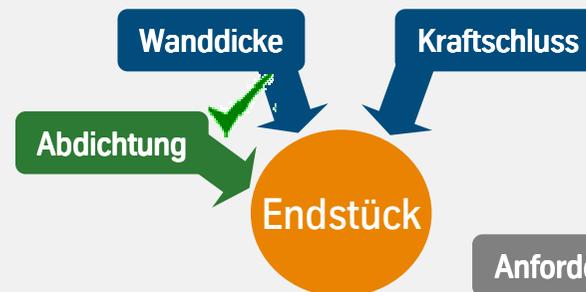
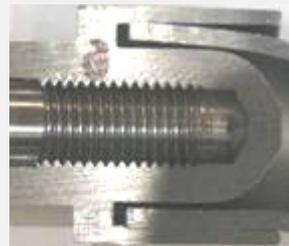
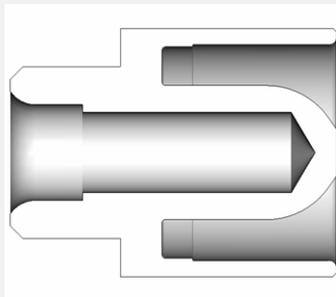
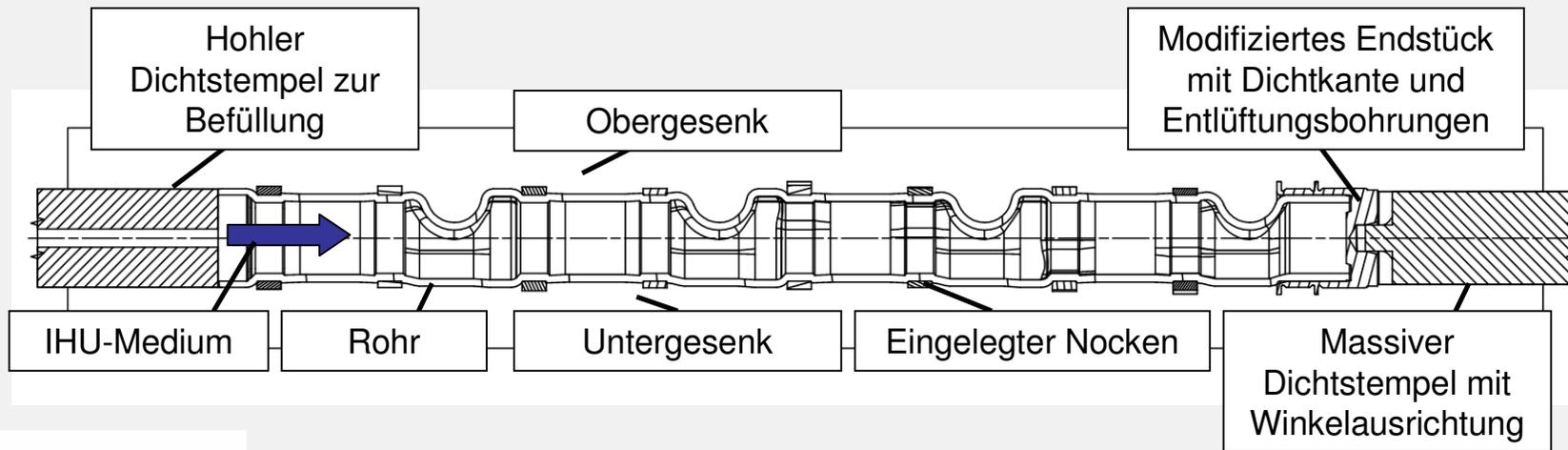
Auslass



Konstruktive und technologische Herausforderungen und Lösungswege

Fügen von dünnwandigen Endstücken mittels Kraftschluss

Umsetzung: Integration einer Dichtkante mit Schneidringfunktion



Konstruktive und technologische Herausforderungen und Lösungswege

Fügen von dünnwandigen Endstücken mittels Kraftschluss

Umsetzung: Kraftschluss durch gestrahlte Innenoberfläche

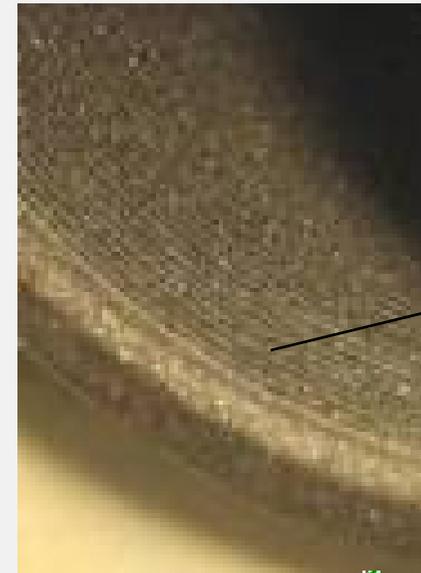
Bestehendes Wanddickenverhältnis begrenzt kraftschlüssig übertragbares Drehmoment auf 80Nm

Optimierungsvarianten: Oberflächenbeschichtung, zusätzlicher Formschluss, Strahlbehandlung

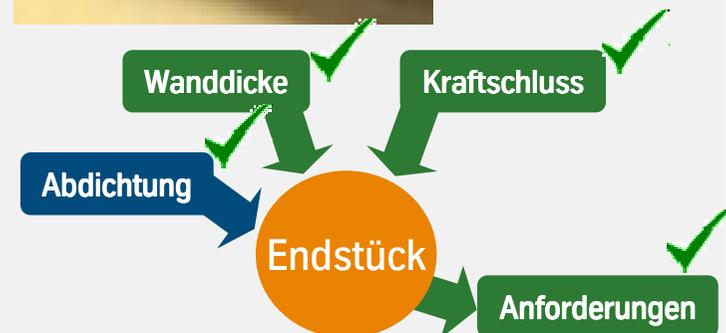
→ Ergebnis: Korundstrahlen der Endstückinnenoberfläche erhöht Reibwert im Pressverband um ca. Faktor 3

Ergebnisse aus Erprobung

- Drehmomentübertragung statisch 220 Nm +/- 10%
- dynamisch +/- 120 Nm nachgewiesen



gestrahlte Oberfläche



Konstruktive und technologische Herausforderungen und Lösungswege

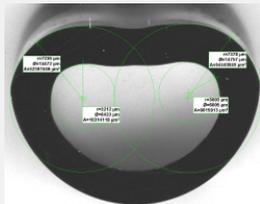
Integrierte Ausbildung von Funktionen

Herausforderung: dauerfeste Funktionsflächen in Rohrgeometrie ein- bzw. ausformen

Umsetzung: gesteuertes Einbringen großer Außenradien zur Erhöhung der Dauerfestigkeit

Serientechnologie:

- Außenradius 7,5 mm
- Innenradius 3,5 mm



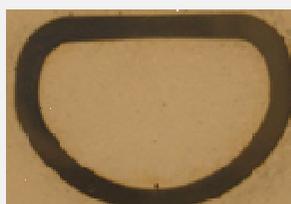
Technologie 1:

- Außenradius 4,0 mm
- Innenradius 1,5 mm



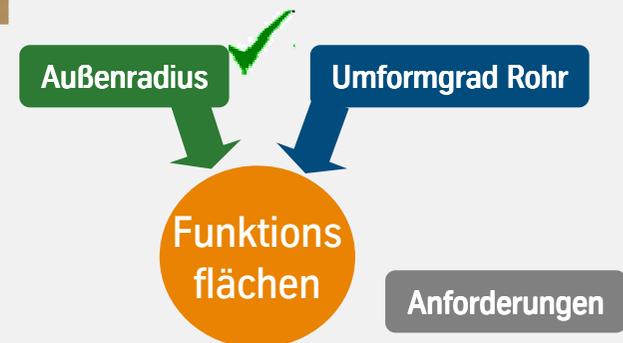
Technologie 2:

- Außenradius 6,0 mm
- Innenradius 3,5 mm



Gewählter Rohrdurchmesser von 28,5mm erfordert 30% höheren Umformgrad zur Presta-Serientechnologie

- Schritte:
1. Ermittlung der maximalen Dehnung des Rohres (Radien)
 2. Simulationsgestützte Betrachtung des Umformprozesses
 3. Entwicklung einer Werkzeugtechnologie
 4. Torsionsversuche zur Überprüfung der Dauerfestigkeit



Konstruktive und technologische Herausforderungen und Lösungswege

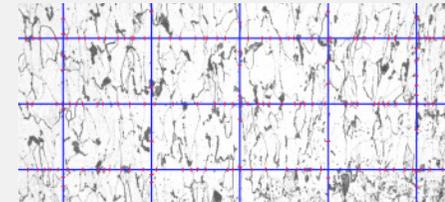
Integrierte Ausbildung von Funktionen

Ergebnisse:

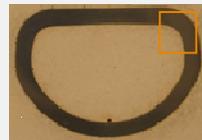


Technologie 1

1. Vergleichsdehnung von **75 %** in Radien
2. Mikrorissbildung am Innenradius
3. Hohe Vertikalstreckung von **61 %**

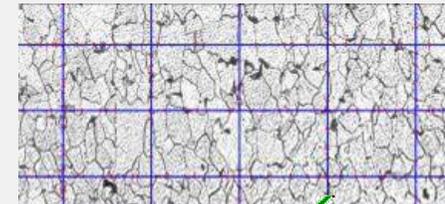
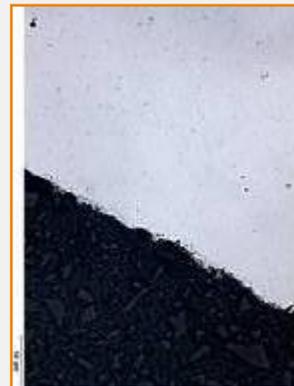


61 %



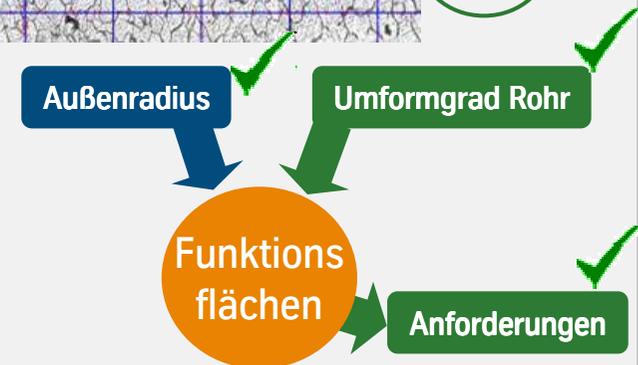
Technologie 2

1. Vergleichsdehnung von **31 %** in Radien
2. Keine Mikrorissbildung am Innenradius
3. Niedrige Vertikalstreckung von **24 %**



24 %

→ Außenradius gezielt eingestellt /
Versuche zur Dauerfestigkeit erfolgreich

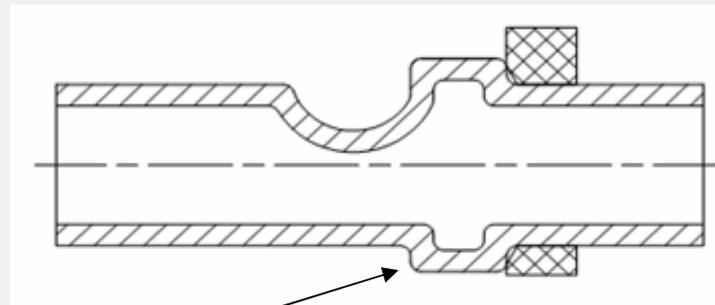


Konstruktive und technologische Herausforderungen und Lösungswege

Ausformung Radiallager aus dem Rohr

Herausforderung

- Ausformstufe vom Ausgangsrohr zum Lagerdurchmesser realisieren
- Einhaltung der Anforderung zur Mindestlagerbreite unter Beachtung der benachbarten Funktionselemente Nocken und Schrauberfreigang
- Einhaltung der Mindestwanddicke



Nockenwellenrohr mit ausgeformtem Lager

Umsetzung

- Variation Ausformdruck
- Reduzierung Nockenbreite
- Optimierung Werkzeuggeometrie und Oberfläche (polierte Umformradien)



Konstruktive und technologische Herausforderungen und Lösungswege

Radiallager Ausformen aus dem Rohr

Ergebnisse

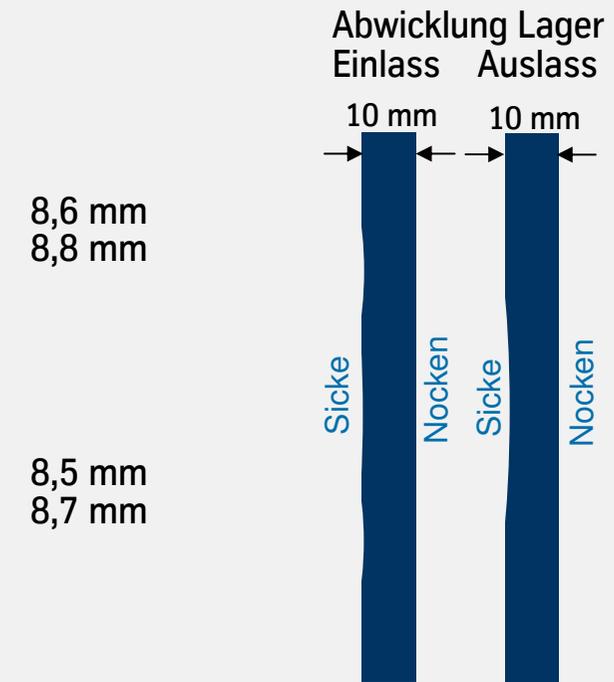
Einlass-NW: - gemessene Lagerbreite an schmalster Lagerstelle
- Mittelwert an schmalster Lagerstelle
- schmalste Stelle in Teilungsebene (90° u. 270°)

Ausgeformt bei 3700 bar

Auslass-NW: - gemessene Lagerbreite an schmalster Lagerstelle
- Mittelwert an schmalster Lagerstelle
- schmalste Stelle Schrauberfreigang oben (0°)

Ausgeformt bei 3700 bar

→ Geeignet ist der Ausformdruck, der ein Optimum zwischen ausgeformter Lagerbreite und Ausdünnung der Wanddicke im umgeformten Bereich gewährleistet



Agenda

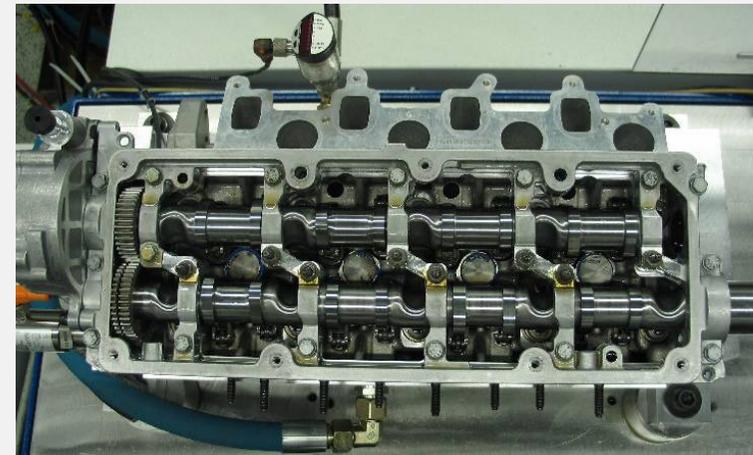
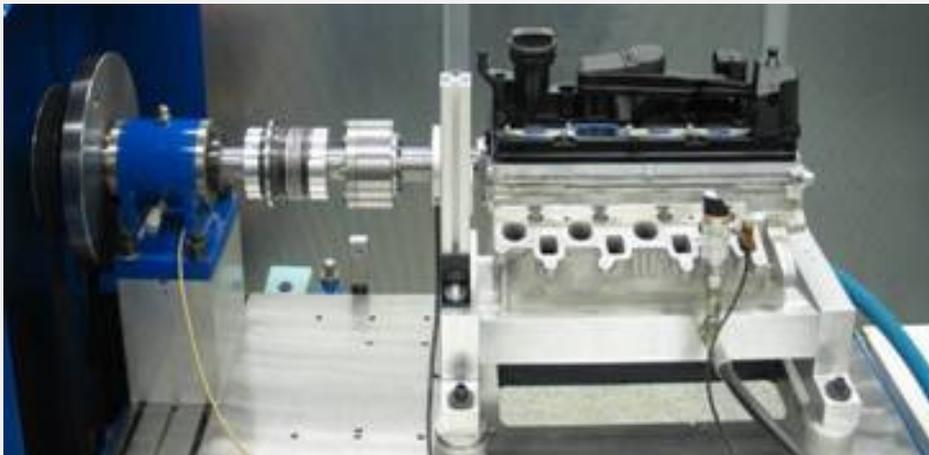
- Zielsetzung und technisches Konzept
- Konstruktive und technologische Herausforderungen und Umsetzung
- **Ergebnisse aus Erprobung der Leichtbaunockenwellen**
- Fazit und Ausblick

Ergebnisse aus Erprobung der Leichtbaunockenwellen

Dauerhaltbarkeitsuntersuchung

Herausforderungen:

1. Nachweis der Funktionsfähigkeit hinsichtlich Dynamik Ventiltrieb
2. Untersuchung des Verschleißverhaltens unter Berücksichtigung geänderter Werkstoffe und reduzierter Funktionsbreiten
3. Untersuchung der Dauerfestigkeit der IHU-Fügeverbindungen



Ergebnisse aus Erprobung der Leichtbaunockenwellen

Dauerhaltbarkeitsuntersuchung auf geschleppten Zylinderkopfprüfstand

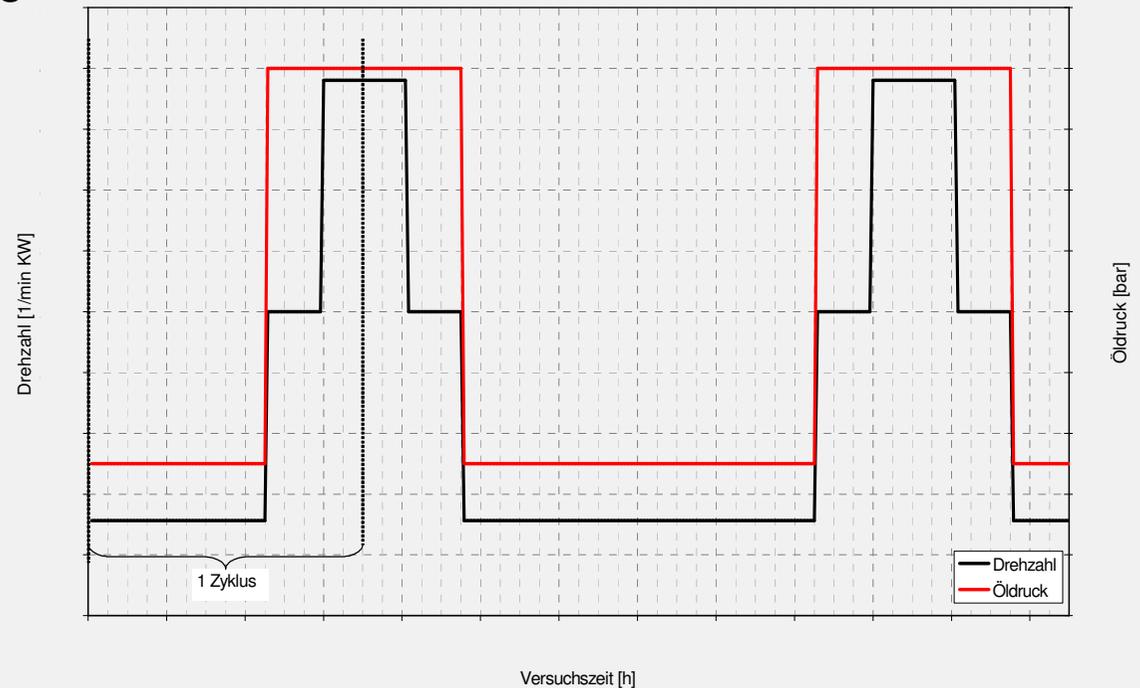
Umsetzung:

Prüfablauf in Anlehnung an Prüfprogramm VW

1. Vermessung der Ventiltriebsdynamik an IHU Ein- und Auslassnockenwelle
2. Dauerhaltbarkeitsuntersuchung 1000 h

Drehzahl-Stufe [1/min KW]	Öldruck [bar]	Dauer [h]
n_1	p_1	t_1
n_2	p_2	t_2
n_3	p_3	t_3

Gesamtdauer $t_1+t_2+t_3$



Ergebnisse aus Erprobung der Leichtbaunockenwellen

Dauerhaltbarkeitsuntersuchung auf geschleppten Zylinderkopfprüfstand

Ergebnisse:

- Keine Auffälligkeiten in der Ventiltriebsdynamik festgestellt
- Alle Lagerdurchmesser innerhalb der geforderten Toleranz nach Prüflauf
- Nocken: R_z - und R_{max} - Werte nach Prüflauf geringer, Glättung



Einlassnockenwelle, Lager E1 **vor** Dauerlauf



Einlassnockenwelle, Lager E1 **nach** Dauerlauf

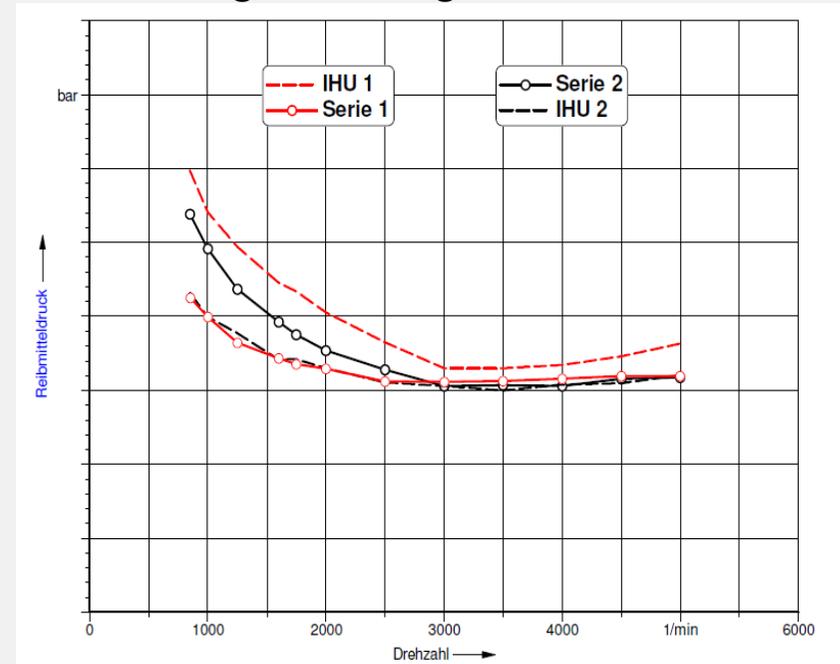
Ergebnisse aus Erprobung der Leichtbaunockenwellen

Dauerhaltbarkeitsuntersuchung auf befeuerten Motorenprüfstand

Dauerlaufmotoren:

- 1,6-I-CR: Ein- und Auslass IHU, 900 h
- 1,6-I-CR: Ein- und Auslass IHU, 750 h
- 2,0-I-CR: Einlass IHU, Auslass Serie, 820 h
- 2,0-I-CR: Auslass IHU, Einlass Serie, 820 h

Reibleistungsmessungen:



- Festigkeitsnachweis für alle dauerlaufgeprüften Wellen erbracht
- Gemessene Reibleistung im Bereich konventioneller Nockenwellen (Einflussfaktor Lagerspiel ist zu beachten)

Agenda

- Zielsetzung und technisches Konzept
- Konstruktive und technologische Herausforderungen und Lösungswege
- Ergebnisse aus Simulation und Erprobung
- **Fazit und Ausblick**

Fazit und Ausblick

Erreichte Ergebnisse

- Alternatives Fertigungsverfahren zur Herstellung von gebauten Nockenwellen erfolgreich umgesetzt
- Kleinstserie von Demonstratoren hergestellt und erfolgreich erprobt

<u>Zielerreichung:</u>	Kosteneinsparung von	13 %
	Gewichtsreduzierung um	22 %

Fazit und Ausblick

Übersicht Gewichtsreduzierung

	Einlass-NW	Auslass-NW
Serie	1165,7 g	1344,9 g
IHU	890,7 g	1062,9 g
Gewichtseinsparung pro NW	275 g (24%)	282 g (21%)

Gewichtseinsparung pro Motor

557 g

(Nockenwellen fertig bearbeitet, ohne Zahnrad)

Fazit und Ausblick

Die im IHU-Umformverfahren gebaute Nockenwelle kann im spezifischen Anwendungsfall eine sinnvolle und vorteilhafte Ergänzung zum Presta-Verfahren sein



ThyssenKrupp Presta Camshafts: Innovativer Partner/Integrator zur Funktions- und Prozessoptimierung von Komponenten/Systemen im Zylinderkopf

Entwicklung von Leichtbaunockenwellen durch alternatives Herstellverfahren
22.-23. November 2010
VDI-Fachtagung, Jürgen Meusel

33



ThyssenKrupp Presta Camshafts



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



ThyssenKrupp Presta Camshafts: Innovativer Partner/Integrator zur Funktions- und Prozessoptimierung von Komponenten/Systemen im Zylinderkopf

Entwicklung von Leichtbaunockenwellen durch alternatives Herstellverfahren
22.-23. November 2010
VDI-Fachtagung, Jürgen Meusel

34



ThyssenKrupp Presta Camshafts

