

Umformtechnische Herstellung gebauter Nockenwellen für schwere Nutzfahrzeuge

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur
genehmigte Dissertation von

Dipl.-Ing. Alexander Kirchhoffer
geboren am 18.01.1980 in Hermeskeil

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Nomenklatur	IV
Abstract	VII
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	3
2.1 Nockenwellen im Automobil	3
2.2 Etablierte Fertigungsverfahren für Nockenwellen im Automobilbau	5
2.2.1 Nockenwelle aus zylindrischem Ausgangsvollmaterial („von der Stange“)	5
2.2.2 Gegossene Nockenwelle	7
2.2.3 Geschmiedete Nockenwelle	8
2.2.4 Gebaute Nockenwelle durch thermisches Fügen	9
2.2.5 Gebaute Nockenwelle durch Rollprofilieren	11
2.2.6 Gebaute Nockenwelle durch mechanisches Aufweiten	13
2.2.7 Gebaute Nockenwelle durch sequenzielles Innenhochdruckfügen (IHF)	15
2.2.8 Gebaute Nockenwelle durch Innenhochdruckumformen von Ringen	17
2.3 Sonstige Fertigungstechniken für Nockenwellen	19
2.3.1 Radial verschraubte Nockenscheiben	19
2.3.2 Einwalzen des Tragohrs	20
2.4 Unrundprofile für Welle-Nabe-Verbindungen	21
2.4.1 Grundlagen der Keiskeilverbindung	21
2.4.2 Polygonverbindung	32
3 Ziel der Arbeit	34

4 Untersuchungen zum Tragverhalten der Welle-Nabe-Verbindung	35
4.1 Konstruktionsrahmenbedingungen für die Gesamtwelle	35
4.2 Berechnung und Datentransfer der Profilstützpunkte	37
4.2.1 Einpassung des Kreiskeilprofils in die Nockenscheibengeometrie.....	41
4.2.2 Einpassung des Polygonprofils in die Nockenscheibengeometrie.....	43
4.3 Numerische Betrachtungen der Fügeverbindung	44
4.4 Herstellung der Prüfkörper	50
4.5 Experimentelle Festigkeitsuntersuchungen der Welle-Nabe-Verbindung.....	51
5 Fertigungsablauf der Nockenscheiben	57
5.1 Prozesssimulation zur umformtechnischen Fertigung der Nockenscheiben.....	58
5.1.1 Simulation des Stoffflusses und Faserverläufe	58
5.1.2 Simulation des Temperaturverhaltens während der Umformung.....	65
5.1.3 Identifikation der verschleißbehafteten Werkzeugbereiche	67
5.2 Werkzeugkonstruktion zur Herstellung der Nockenscheiben	69
5.3 Fertigung von Nockenscheiben unter Produktionsbedingungen	75
5.4 Qualitätsmanagement.....	78
6 Fertigungsablauf der Trägerwelle	83
6.1 Unrundwalzen	83
6.2 Innenhochdruckumformen	87
6.2.1 Gestaltung der Erprobungsträger	89
6.2.2 IHU-Prozesssimulation.....	90
6.2.3 Konstruktive Gestaltung der formgebenden IHU-Werkzeuge.....	94
6.2.4 Experimentelle Untersuchungen der Erprobungsträger	96
6.3 Technologietransfer auf die gebaute Nockenwelle.....	104
6.4 Fertigung von ZB-Nockenwellen unter serientauglichen Produktionsbedingungen ...	107

6.5 Qualitätsmanagement	108
7 Konzeption einer großserientechnischen Montagelinie	112
7.1 Fertigungsablauf der thermisch gefügten Nockenwelle.....	112
7.2 Fertigungsablauf der innenhochdruckumgeformten Nockenwelle.....	115
8 Schlussfolgerungen und Ausblick.....	121
Literaturverzeichnis.....	123