

Magnesiumblech-Technologieketten für innovative Leichtbauanwendungen im Automobilbau

Von der Fakultät für Maschinenbau der
Technischen Universität Chemnitz
genehmigte

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktoringenieur
(Dr.-Ing.)

vorgelegt

von Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Tommy Wetzel
geboren am 03.12.1982 in Karl-Marx-Stadt
eingereicht am 18.02.2012

Gutachter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Reimund Neugebauer
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Bernhard Wielage

Chemnitz, den 01.07.2012

Impressum

Magnesiumblech-Technologiekette für innovative Leichtbauanwendungen im Automobilbau

Autor:

Tommy Wetzel

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Reimund Neugebauer

Wichtiger Hinweis:

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© 2012

Fraunhofer-Institut
für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Reichenhainer Straße 88, 09126 Chemnitz
www.iwu.fraunhofer.de

Verlag Wissenschaftliche Scripten
www.verlag-wiss-scripten.de

ISBN: 978-3-942267-51-9

Bibliografische Beschreibung

Wetzel, Tommy

Thema: Magnesiumblech-Technologieketten für innovative Leichtbauanwendungen im Automobilbau

Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, Chemnitz, 01.07.2012

Seiten	223
Abbildungen	113
Tabellen	25
Literaturzitate	229

Referat:

Ein Hauptziel der Automobilindustrie ist die Reduzierung des Kohlenstoffdioxid-Ausstoßes von neu zugelassenen Fahrzeugen. Zur Erreichung des Ziels werden die verbrauchsbeeinflussenden Größen optimiert. Der wesentlichste Ansatz neben dem Einsatz von alternativen Antriebskonzepten und der Reduzierung des Luftwiderstandes ist die Reduzierung der Fahrzeugmasse.

In der vorliegenden Arbeit werden Einzeltechnologien und die komplexe Technologieketten für Magnesiumblechanwendungen im Karosseriebau der Fahrzeugindustrie untersucht. Den Ausgangspunkt bildete die These, dass die Nutzung der Magnesiumblechtechnologie erst durch die Optimierung der kompletten Technologieketten möglich ist. Das beinhaltet das Aufstellen einer Technologieketten, die Untersuchung der Einzeltechnologien und deren Zusammenwirken sowie den Einfluss auf das Gesamtergebnis. Im Rahmen der Technologiebetrachtung werden die Fertigungsrouten, die prototypische Umformung, Trenntechnologien, Korrosionsschutzmöglichkeiten, Füge- und Einbaukonzepte in einer automobilen Produktion untersucht und bewertet. Der Werkstoff Magnesium besitzt ein hohes Potenzial, um das Fahrzeuggewicht nachhaltig zu senken. Wird dieses Potenzial konsequent genutzt und die Technologie- und Prozessketten werkstoffgerecht ausgelegt, können weitere Anwendungen für Magnesiumblech in der Karosserie identifiziert werden.

Schlagnworte:

Leichtbau, Magnesium, Magnesiumblech, Werkstoffe, Technologieketten, Oberflächentechnik, Umformen, Fügen, Trennen, Knetlegierungen

Vorwort des Autors

Kontrovers diskutiert werden die teils lustigen und zu tiefst bewegenden Widmungen in wissenschaftlichen Arbeiten. Gerade dieser erste zusammenhängende Textteil stellt eine Verbindung zwischen dem Lesenden, dem Verfasser, dessen Persönlichkeit und der wissenschaftlichen Ausarbeitung her.

Einen Weg zu gehen und ein Ziel zu erreichen, schafft man im Rahmen einer Promotion nur mit Unterstützung aus den verschiedensten Bereichen des Lebens. Und genau für diese Unterstützung, ob groß oder klein, möchte ich mit den folgenden Zeilen ein herzliches Dankschön ausdrücken.

Vor Ihnen liegt eine wissenschaftliche Arbeit, in der es um Faszination am automobilen Fortschritt und ein anspruchsvolles Leichtbauthema geht. Bereits vor über 60 Jahren wurde Magnesium als Blech für die Karosserie des Porsche 360 eingesetzt. Ziel war es, anzuknüpfen an diese Leichtbautradition und den Werkstoff Magnesium im Umfeld der gestiegenen Anforderungen zu untersuchen. Ich verdanke es meinem Mentor bei der Porsche AG, Herrn Dr.-Ing. Robert Volz, dass dieses Thema zustande gekommen ist. Vielen Dank, dass du mir das nötige Vertrauen geschenkt, mir die Freiheiten gegeben und mich in jeder Situation unterstützt hast.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. Reimund Neugebauer für die Bereitschaft, kurzfristig die Betreuung meiner Arbeit zu übernehmen, auch wenn die Bearbeitung schon fast abgeschlossen war. Während meines Studiums hatten wir keinen Kontakt und gerade deshalb weiß ich den Vertrauensvorschuss sehr zu schätzen. Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Bernhard Wielage danke ich für die Zweitbegutachtung. Der Aufwand eines Koreferates ist nicht gerade klein und ich schätze es sehr, dass Sie mich bei diesem Schritt im Promotionsverfahren unterstützen.

Außerdem möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Holger Dürr und Herrn Prof. Dr.-Ing. Dieter Richter bedanken. Von Ihnen erhielt ich die Förderung und das Vertrauen von den ersten Skizzen bis zum gereiften Thema. Ihre Betreuung habe ich als anspruchsvoll und zeitgleich hoch effizient empfunden.

Die Rahmenbedingungen für meine Dissertation schaffte die Abteilung Werkstofftechnik der Porsche AG. Dem Leiter, Herrn Dieter Wagner, danke ich für die Möglichkeit zur Promotion. Mein besonderer Dank gilt Herrn Ralph Renz, der in jeder fachlichen Diskussion eine Bereicherung ist und mich bei der Lösung von Herausforderungen inspiriert hat. Weiter danke ich Herrn Gregor Cespedes-Gonzales für die großartige Zusammenarbeit und Herrn Dr.-Ing. Thiemo Erb für den fachlichen Wettbewerb mit den faserverstärkten Kunststoffen. Außerdem danke ich allen Mitarbeitern der Werkstofftechnik und der Entwicklung sowie Produktion, für die praktische Mitwirkung. Alle Unterstützer der Porsche AG

namentlich aufzuzählen, würde den Rahmen sprengen. Bereits während der Zeit bei der Porsche AG habe ich mich bemüht, meinen Dank zum Ausdruck zu bringen.

Allen Projektpartner der geförderten Forschungsvorhaben "Super Light Car" und "Mobil mit Magnesium" danke ich für die vielen tiefgehenden Gespräche, die Geduld bei der Beantwortung meiner Fragen und die erfolgreiche Zusammenarbeit.

Gewissenhaft, gründlich und jederzeit zuverlässig haben mich meine Studenten unterstützt. Euer Einsatz hat mich immer begeistert und die Betreuung hat mir viel Freude bereitet. Ich danke euch Alexandra, Robin, Maik, Christian und Sascha.

Mit den Mitgliedern des Doktorandennetzwerkes der Automobilindustrie verbindet mich eine enge Freundschaft und eine Gemeinsamkeit, die zu Höchstleistungen anspornt. Der persönliche und fachliche Austausch war stets ermutigend und hat die richtigen Impulse gegeben.

Abschließend möchte ich von ganzem Herzen meiner Familie danken. Ihr habt mich bei allen Entscheidungen bedingungslos unterstützt und wart immer für mich da. Meiner lieben Claudia möchte ich besonders danken, du hast immer zu mir gestanden und mir den nötigen Freiraum gegeben. Die gemeinsame Zeit möchte ich um nichts auf der Welt eintauschen und ich freue mich jeden Tag, mit dir unsere Träume zu leben.

Ingolstadt, den 01.07.2012

Tommy Wetzel

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	11
1.1	Motivation der Untersuchung	11
1.2	Abgrenzung und Aufbau der Arbeit	13
2	Situationsanalyse	15
2.1	Begriffsdefinitionen	15
2.2	Technologiefähigkeit	17
2.2.1	Bauteilbeschreibung	18
2.2.2	Technologieketten	19
2.3	Magnesiumblechtechnologie	21
2.3.1	Geschichte	21
2.3.2	Legierungen	22
2.3.3	Eigenschaften im Vergleich	23
2.3.4	Herstellung von Magnesiumblech	23
2.3.5	Umformtechnik	25
2.3.6	Trennen	30
2.3.7	Oberflächentechnik	31
2.3.8	Fügetechnik	49
2.4	Forschungsprojekte	53
2.5	Zusammenfassung	53
3	Technologiekettenbildung	55
3.1	Bauteilbeschreibung	55
3.2	Offene Technologiekette	57
4	Charakterisierung von Einzeltechnologien	61
4.1	Materialanalyse des Rohteils	61
4.1.1	Dichtebestimmung	62
4.1.2	Legierungszusammensetzung	62
4.1.3	Ausgangsgefüge	63
4.1.4	Oberflächencharakteristik	64
4.1.5	Oberflächenrauheit	64
4.1.6	Festigkeitskennwerte	66

4.2	Umformen	67
4.2.1	Werkzeug.....	67
4.2.2	Erwärmungskonzept.....	68
4.2.3	Schmiermittel	71
4.2.4	Ablauf des Umformprozesses.....	76
4.2.5	Umformsimulation.....	77
4.2.6	Bauteilversuche.....	79
4.2.7	Validierung der Umformsimulation.....	84
4.3	Trennen	88
4.4	Oberflächenbehandlung	88
4.4.1	Untersuchungsmethoden, Probenvorbereitung und -auswertung.....	89
4.4.2	Analyse des Korrosionsverhaltens der Knetlegierung AZ31.....	95
4.4.3	Einfluss der Schnittkante	99
4.4.4	Einfluss der Vorbehandlung	101
4.4.5	Einfluss der Haftvermittler- und Diffusionssperrschicht.....	114
4.4.6	Einfluss der Lacksysteme	128
4.4.7	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	137
4.5	Fügen.....	141
4.5.1	Untersuchungsmethoden, Probenvorbereitung und -auswertung.....	141
4.5.2	Untersuchung zu Fügeelementen.....	149
4.5.3	Untersuchung von Klebeverbindungen.....	152
4.5.4	Korrosionsuntersuchungen	160
4.5.5	Zusammenfassung der Fügeuntersuchungen.....	164
4.6	Einbaukonzepte.....	166
4.6.1	Übersicht über die Montage am Beispiel der Porsche AG	166
4.6.2	Magnesiumspezifisches Verhalten in der Fahrzeugfertigung	167
4.6.3	Einbaukonzepte des Magnesiumdaches	170
4.6.4	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	176
5	Ableitung der geschlossenen Technologiekette.....	179
6	Zusammenfassung und Ausblick	185
	Anhang.....	189
	Literaturverzeichnis.....	207