Forschungsberichte aus dem
wbk Institut für Produktionstechnik
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Ramona Pfeiffer

Untersuchung der prozessbestimmenden Größen für die anforderungsgerechte Gestaltung von Pouchzellen-Verpackungen

Band 228

Forschungsberichte aus dem
wbk Institut für Produktionstechnik
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer
Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

Ramona Angela Pfeiffer

Untersuchung der prozessbestimmenden Größen für die anforderungsgerechte Gestaltung von Pouchzellen-Verpackungen

Band 228

Untersuchung der prozessbestimmenden Größen für die anforderungsgerechte Gestaltung von Pouchzellen-Verpackungen

Zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der Ingenieurwissenschaften

der Fakultät für Maschinenbau

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

genehmigte

Dissertation

von

M.Sc. Ramona Angela Pfeiffer (geb. Singer)

aus Karlsruhe

Tag der mündlichen Prüfung:	18.11.2019
Hauptreferent:	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. Klaus Dröder

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

Zugl.: Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie, Diss., 2019

Copyright Shaker Verlag 2020
Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-7158-0
ISSN 0724-4967

Shaker Verlag GmbH • Am Langen Graben 15a • 52353 Düren
Telefon: 02421 / 99 0 11 - 0 • Telefax: 02421 / 99 0 11 - 9
Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort des Herausgebers

Die schnelle und effiziente Umsetzung innovativer Technologien wird vor dem Hintergrund der Globalisierung der Wirtschaft der entscheidende Wirtschaftsfaktor für produzierende Unternehmen. Universitäten können als "Wertschöpfungspartner" einen wesentlichen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit der Industrie leisten, indem sie wissenschaftliche Grundlagen sowie neue Methoden und Technologien erarbeiten und aktiv den Umsetzungsprozess in die praktische Anwendung unterstützen.

Vor diesem Hintergrund soll im Rahmen dieser Schriftenreihe über aktuelle Forschungsergebnisse des Instituts für Produktionstechnik (wbk) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) berichtet werden. Unsere Forschungsarbeiten beschäftigen sich sowohl mit der Leistungssteigerung von Fertigungsverfahren und zugehörigen Werkzeugmaschinen- und Handhabungstechnologien als auch mit der ganzheitlichen Betrachtung und Optimierung des gesamten Produktionssystems. Hierbei werden jeweils technologische wie auch organisatorische Aspekte betrachtet.

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer

Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza

Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze

Vorwort des Verfassers

Die vorliegende Dissertation ist im Rahmen meiner Tätigkeit als akademische Mitarbeiterin am Institut für Produktionstechnik (wbk) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) entstanden. Mein Dank gilt insbesondere Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Fleischer für die Übernahme des Hauptreferats, die fachlich anregenden Diskussionen sowie das mir entgegengebrachte Vertrauen. Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Dröder möchte ich für die Übernahme des Korreferats und dem damit verbundenen wissenschaftlichen Austausch danken. Herrn Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen danke ich für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Den Mitarbeitenden des wbk am Campus Süd danke ich für die stets freundliche und kollegiale Zusammenarbeit. Insbesondere haben meine Kollegen der MAP durch die anregenden Unterhaltungen am Kaffeetisch dafür gesorgt, dass mir die letzten Jahre in positiver Erinnerung bleiben werden. Für ihr Engagement und die Zusammenarbeit möchte ich mich bei meinen Studierenden bedanken, die durch ihre Abschlussarbeiten oder ihre Tätigkeit als studentische Hilfskräfte zum Gelingen meiner Arbeit beigetragen haben. Weiterhin möchte ich mich beim gesamten Team des Batterietechnikums am Campus Nord für den fachlichen Austausch und ihre Mitwirkung bei meinen Forschungsergebnissen bedanken.

Mein größter Dank gilt meiner Familie, insbesondere meinen Eltern Werner und Gabriele, meiner Schwester Mareen sowie meinem Schwager Thomas, die mir immer den notwendigen Rückhalt gegeben haben. Meinem Mann Stefan möchte ich für seinen stetigen, positiven Zuspruch und seine Unterstützung danken.

Karlsruhe, im November 2019

Ramona Angela Pfeiffer

Abstract

Electric vehicles are primarily manufactured according to the Conversion Design and thus optically resemble classic combustion vehicles. However, this brings with it the disadvantage that only a small and geometrically specified installation space is available for the energy storage unit. In order to achieve a driving range comparable to that of combustion vehicles, this installation space in electric vehicles must be packed as tightly as possible with energy. The range can be further increased by using an energy storage device with low weight.

Consequently, a space-saving, geometrically flexible battery cell with high energy density and low weight must be selected for energy storage. The lithium-ion pouch cell has the potential to meet all these requirements.

However, its housing (packaging), which consists of a 150 µm thin aluminium composite foil, can become the limiting factor for this. According to the state of the art, pouch cell packaging that is both space-saving and geometrically flexible cannot be produced with the current manufacturing processes. Within the scope of the present work, the packaging types for pouch cells have therefore been evaluated regarding these criteria and the two packaging type's deep-drawn half-shell and folding pouch box have been examined more closely. A packaging for a 10 mm high stack of electrodes has been defined as the target variable for investigating geometric flexibility. Initially, deep-drawing, as a state-of-the-art process, was investigated in depth by means of experimental parameter studies. This has led to a deeper understanding of the process. Furthermore, the pouch folding carton research approach has been validated with regard to its functionality and initial production approaches have been demonstrated. Finally, both packaging concepts were tested on real pouch cells with electrode stacks over 10 mm high and the results were compared. From this, the recommendation can be derived that both types of packaging, depending on the geometric target size, are justified as packaging technologies for pouch cells.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis **I**

Abkürzungen **IV**

1 Einleitung **1**

2 Grundlagen und Stand der Technik **5**

2.1 Lithium-Ionen-Pouchzelle 5

2.1.1 Funktion 5

2.1.2 Aufbau 6

2.1.3 Prozesskette 8

2.1.4 Sicherheitsaspekt 12

2.2 Pouchzellen-Verpackung 15

2.2.1 Verpackungswerkstoff 15

2.2.2 Fügeverfahren 20

2.2.3 Sicherheits- und Funktionsanforderung „Gasdichtheit“ 23

2.2.4 Verpackungsarten 31

2.3 Zusammenfassung und Ableitung des Forschungsdefizits 47

3 Zielsetzung, Lösungsansatz und Vorgehensweise **49**

3.1 Zielsetzung und Lösungsansatz 49

3.2 Vorgehen 52

4 Charakterisierung der Ausgangsfolie **54**

4.1 Mechanische Eigenschaften 55

4.1.1 Zugfestigkeit 55

4.1.2 Siegelnahtfestigkeit 56

4.2 Gesamtdicke der Aluminiumverbundfolie 58

4.3 Einzelschichtdicke 59

5 Prozessuntersuchung Tiefziehen **62**

5.1 Qualitätskriterien 62

5.1.1 Rissbildung 63

5.1.2 Faltenbildung 64
5.1.3 Einziehungen 66
5.1.4 Verbleibende Gesamtdicke nach dem Tiefziehen 66
5.1.5 Reproduzierbarkeit 67
5.2 Versuchsaufbau 68
5.2.1 Hydraulische Tiefziehpresse 68
5.2.2 Tiefziehwerkzeug 69
5.3 Parameterauswahl und Versuchsplanung 72
5.3.1 Voruntersuchungen einfaktorielle Versuchspläne 73
5.3.2 Mehrfaktorielle Versuchspläne 73
5.4 Ergebnisse Tiefziehen 80
5.5 Auswertung Tiefziehen 88
5.5.1 Auswertealgorithmus 88
5.5.2 Interpretation der Ergebnisse 90
6 Konzepterprobung Pouch-Faltschachtel 104
6.1 Dichtheit 107
6.1.1 Karl-Fischer-Titration 108
6.1.2 Blasenprüfung 110
6.1.3 Helium-Leckage Test 116
6.2 Praktikabilität 119
6.2.1 Herleitung des Faltplans 120
6.2.2 Versuchsvorbereitung: Fertigung Verpackung (manuell) 121
6.2.3 Versuchsdurchführung: Assemblierung 121
6.2.4 Versuchsdurchführung: Vakuumieren 122
6.2.5 Optimierungsschleifen und Ergebnisse 122
6.3 Proof of Concept 125
6.3.1 Zellbau 125
6.3.2 Elektrische Charakterisierung 128
6.4 Ermittlung der Fertigungsreihenfolge 133
6.4.1 Mathematische Analyse der Pouch-Faltschachtel 134

6.4.2 Anwendung der Leitsätze 137
6.5 Erprobung der Fertigungsverfahren 141
6.5.1 Fertigungsverfahren Rillen 141
6.5.2 Fertigungsverfahren Biegen 143
7 Vergleich der Verpackungskonzepte 149
7.1 Zellassemblierung 149
7.1.1 Elektrodenstapel 149
7.1.2 Verpackung 150
7.2 Formierung 150
7.3 Zellcharakterisierung 151
7.4 Abschließende Gegenüberstellung 154
8 Zusammenfassung und Ausblick 158
8.1 Zusammenfassung 158
8.2 Ausblick 159
Literaturverzeichnis VII
Abbildungsverzeichnis XXII
Tabellenverzeichnis XXIX
Anhang XXX