

Sensitivitäts- und Robustheitsanalyse beim Clinchen dicker Stahlbleche

Von der Fakultät für Maschinenbau der
Technischen Universität Chemnitz
genehmigte

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Ingenieurwissenschaften
(Dr.-Ing.)

vorgelegt

von Dipl.-Ing. Markus Israel
geboren am 07. Juli 1981 in Löbau
eingereicht am 02. März 2015

Gutachter:

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

Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus-Jürgen Matthes

Chemnitz, den 17. November 2015

Impressum

Sensitivitäts- und Robustheitsanalyse beim Clinchen dicker Stahlbleche

Autor:

Markus Israel

Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. mult. Dr. h. c. mult.

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.

© 2015

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: 978-3-95735-030-5

Bibliografische Beschreibung

Israel, Markus

Thema

Sensitivitäts- und Robustheitsanalyse beim Clinchen dicker Stahlbleche

Dissertation an der Fakultät für Maschinenbau der Technischen Universität Chemnitz, Institut für Werkzeugmaschinen und Produktionsprozesse, Chemnitz, 02. März 2015

196 Seiten
76 Bilder
20 Tabellen
223 Literaturzitate

Referat

Gegenstand der Arbeit ist die Analyse des Clinchens als potenzielle Technologie zum Verbinden dicker Stahlbleche. Hierfür erfolgen experimentelle Setzversuche mit anschließender Auswertung der geometrischen Verbindungsausbildung und der Ermittlung von Verbindungsfestigkeiten mit dem Ziel, die Eigenschaften von Dickblechverbindungen zu erfassen und im Vergleich mit bekannten Eigenschaften repräsentativer Feinblechverbindungen zu bewerten. Zur Generierung eines umfassenden Prozessverständnisses in Form von Wirkzusammenhängen zwischen Parametern und Ergebnisgrößen werden FEM-basierte Sensitivitäts- und Robustheitsanalysen durchgeführt. Basierend auf der umfassenden Analyse einer Referenzverbindung wird die Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse auf weitere Werkstoff- und Blechdickenkombinationen untersucht. Im Ergebnis der Analysen erfolgt eine Ableitung von Handlungsempfehlungen für die effiziente Auslegung von Clinchprozessen zum Verbinden dicker Bleche. Neben der Vergrößerung des Prozessverständnisses im Ergebnis der Sensitivitäts- und Robustheitsanalysen wird der enorme Mehrwert einer solchen, für die mechanische Füge-technik neuen, Analysemethodik aufgezeigt.

Schlagworte

Mechanisches Fügen, Clinchen, Sensitivitätsanalyse, Robustheitsanalyse, Dickblech, Finite Elemente Methode, DoE

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Formelzeichen und Abkürzungen	7
1 Einleitung	12
2 Stand der Technik	14
2.1 Clinchen	14
2.1.1 Verfahrensprinzip, Kenngrößen und Eigenschaften	14
2.1.2 Sonderverfahren und aktuelle Entwicklungen	17
2.1.3 Clinchen von Dickblech	18
2.2 FEM-Simulation des Clinchprozesses	20
2.2.1 Nutzung der FEM in der Prozessanalyse	20
2.2.2 Kennwerte für FEM-Modelle	21
2.3 Parameteranalyse des Clinchprozesses	24
2.3.1 Begriffsdefinitionen	24
2.3.2 Statistische Versuchsplanung	25
2.3.3 Metamodelle	28
2.3.4 Sensitivitäts- und Robustheitsanalyse	29
2.3.5 Optimierung	32
2.3.6 Parameteranalysen beim Clinchen	33
3 Aufgabenstellung und Zielsetzung	35
4 Randbedingungen der Untersuchungen	38
4.1 Begriffsdefinitionen	38
4.2 Verwendete Blechwerkstoffe	38
4.3 Grundlagen der experimentellen Untersuchungen	40
4.3.1 Werkzeuge, Füge- und Prüfeinrichtungen	40
4.3.2 Versuchsdurchführung und -auswertung	42
4.3.3 Versuchsprogramm	44
4.4 Grundlagen der numerischen Analysen	46

4.4.1	Verwendete Software	46
4.4.2	FEM-Modelle	47
4.4.3	Kopplung von FEM-Software und DoE-Software.....	50
4.4.4	Durchführung und Auswertung numerischer Parameteranalysen	52
4.4.5	Versuchsprogramm	58
5	Experimentelle Untersuchungen	60
5.1	Punktausbildung und Prozesskräfte.....	60
5.2	Festigkeiten geclinchter Proben.....	64
5.2.1	Quasistatische Scherzugbelastung	64
5.2.2	Zyklische Scherzugbelastung	66
5.2.3	Grenznahtfestigkeit.....	70
5.3	Zusammenfassung der Erkenntnisse	72
6	Numerische Grundlagenuntersuchungen.....	77
6.1	Validierung der FEM-Modelle.....	77
6.2	Werkzeugbeanspruchung	83
6.2.1	Gefahr der plastischen Werkzeugdeformation.....	83
6.2.2	Gefahr von Rissen und Werkzeugbruch	87
6.3	Punktausbildung.....	92
6.3.1	Variation der Bodendicke.....	93
6.3.2	Variation der Matrizentiefe	98
6.3.3	Schlussfolgerungen	101
7	Sensitivitätsanalyse	102
7.1	Parameter und Ergebnisgrößen	102
7.2	Paarung S380MC (6 mm) in S380MC (4 mm)	104
7.2.1	Halsdicke	105
7.2.2	Hinterschnitt.....	108
7.2.3	Fügekraft	111
7.2.4	Wirkung relevanter Parameter	113

7.3 Übertragbarkeit auf weitere Paarungen	114
7.3.1 Matrizendurchmesser 22 mm	115
7.3.2 Matrizendurchmesser 16 mm, 22 mm und 30 mm	117
7.4 Zusammenfassung der Erkenntnisse	119
7.4.1 Beeinflussung von Halsdicke, Hinterschnitt und Fügekraft	119
7.4.2 Relevante Parameter für die Werkzeugauslegung	120
8 Robustheitsanalyse	124
8.1 Parameter und Ergebnisgrößen	124
8.2 Paarung S380MC (6 mm) in S380MC (4 mm)	130
8.2.1 Halsdicke	130
8.2.2 Fügekraft	133
8.2.3 Hinterschnitt	137
8.2.4 Diskussion der Lage von Dichteverteilungen	146
8.3 Übertragbarkeit auf weitere Paarungen	148
8.3.1 Dichteverteilungen	148
8.3.2 Parameterrelevanz	150
8.4 Zusammenfassung der Erkenntnisse	153
9 Werkzeug- und Prozessauslegung	155
9.1 Anforderungen und Randbedingungen	155
9.2 Numerische Prozessoptimierung	156
9.2.1 Grundlegende Betrachtungen	156
9.2.2 Beispiel einer Werkzeug- und Prozessoptimierung	157
9.3 Hinweise für die Werkzeug- und Prozessauslegung	161
10 Zusammenfassung und Ausblick	168
Literaturangaben	172
Anlagen	183