

Inhaltsverzeichnis

Content

Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	IX
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Problemstellung und Motivation	2
1.3 Aufbau und Struktur der Arbeit	3
2 Die Schweißvorbereitung in der Hairpin-Statorproduktion	5
2.1 Grundlagen der Hairpin-Technologie	5
2.1.1 Aufbau und Funktion des Elektromotors	5
2.1.2 Grundlagen der Wickeltechnologie	9
2.1.3 Charakterisierung der Hairpin-Prozesskette	15
2.2 Qualität und Prozessstabilität in der Elektromotorenproduktion	30
2.2.1 Einordnung der Hairpin-Technologie in die automobiler Produktion	33
2.2.2 Kontaktierung flachleiterbasierter Formspulenwicklungen	36
2.2.3 Anforderungen an die Schweißvorbereitung im Laserschweißprozess	44
2.2.4 Status quo der geometrischen Schweißvorbereitung in der Hairpin-Technologie	50
3 Ableitung des Forschungsbedarfs und Lösungsweg dieser Arbeit	59
3.1 Handlungsbedarf in der geometrischen Schweißvorbereitung	59
3.2 Lösungsansatz der anfangsfesten Schweißvorbereitung	61
3.2.1 Einordnung und Abgrenzung zum Stand der Technik	64
3.2.2 Expertenmeinung aus der Praxis	66
3.3 Vorgehensweise und Struktur	67
3.3.1 Forschungsfrage	67
3.3.2 Forschungsmethodik	68
4 Konzept der spannvorrichtungslosen Schweißvorbereitung	71
4.1 Grundlagen und Anforderungen an ein anfangsfestes Fügeverfahren	71
4.1.1 Beschreibung der Fügestelle und des Wickelkopfverhaltens	71
4.1.2 Analyse der Leistungsfähigkeit bestehender Spannverfahren	76
4.1.3 Anforderungsdefinition für die anfangsfeste Vorfixierung	78
4.2 Konzeptionierung geeigneter anfangsfester Fügeverfahren für Flachleiter	82
4.2.1 Fügemechanismen und ihre physikalischen Grundlagen	82
4.2.2 Konzeptentwicklung geeigneter Lösungsalternativen	86
4.2.3 Vorüberlegungen zur Eingrenzung des Lösungsraums	90
4.2.4 Konzeptbewertung und Auswahl geeigneter Fügeverfahren	95

4.3 Beschreibung anfangsfester Fügeverfahren für die Kontaktiervorbereitung ...	98
4.3.1 Anfangsfestes Fügen ohne Zusatzelement	98
4.3.2 Anfangsfestes Fügen mit Zusatzelement	100
5 Versuchsinfrastruktur und Planung der Fügestellenuntersuchung	105
5.1 Definition der Prüfkörper	105
5.2 Versuchsinfrastruktur für das anfangsfeste Fügen	106
5.2.1 Versuchsaufbau der Universal-Hydraulik-Pressen	107
5.2.2 Werkzeugsatz für das Fügesystem „Durchsetzfügen mit Vorlochoperation“	108
5.2.3 Werkzeugsatz für das Fügesystem „Umfließen“	109
5.2.4 Werkzeugsatz für das Fügesystem „Fügen mit Hülse“	111
5.2.5 Werkzeugsatz für das Fügesystem „Fügen durch Nieten“	112
5.3 Versuchsinfrastruktur für das endfeste Fügen	113
5.4 Untersuchung und Bewertung der Fügestellen	114
5.4.1 Geometrisch-optische Fügestellenuntersuchung	115
5.4.2 Mechanische Belastung im Zugversuch	115
5.4.3 Thermische Belastung	117
5.4.4 Untersuchung der Kontaktstellenwiderstände	117
5.5 Vorgehen bei der systematischen Fügestellenuntersuchung	119
6 Charakterisierung der anfangsfesten Fügetechnologie	123
6.1 Identifikation geeigneter Prozessparameter	123
6.1.1 Durchsetzfügen mit Vorlochoperation	123
6.1.2 Umfließen	128
6.1.3 Fügen mit Hülse	133
6.1.4 Fügen durch Nieten	136
6.2 Geometrische Eigenschaften der Fügestelle	138
6.2.1 Charakteristische Geometriemerkmale und Abmaße	138
6.2.2 Geometrische Ausrichtung der Fügepartner	145
6.3 Belastbarkeit der Fügestelle	147
6.3.1 Mechanische Belastbarkeit nach dem anfangsfesten Fügen	147
6.3.2 Thermische Belastbarkeit der anfangsfesten Fügestelle	153
6.4 Kontaktierung der anfangsfest vorfixierten Fügestelle	153
6.4.1 Prozessstrategien beim Laserschweißprozess	154
6.4.2 Geometrische Eigenschaften und Anbindung des leitfähigen Drahtquerschnittes	158
6.4.3 Mechanische Belastbarkeit nach dem stoffschlüssigen Fügen	162
6.4.4 Kontaktwiderstände nach dem stoffschlüssigen Fügen	164
6.5 Zwischenfazit	166

7 Integration des anfangsfesten Fügens in die Hairpin-Statorproduktion	169
7.1 Integrierte Anlagenkonzepte für das anfangsfeste Fügen	169
7.1.1 Integrationspunkte in der Hairpin-Statorprozesskette	169
7.1.2 Entwicklung integrierter Anlagenkonzepte	171
7.1.3 Prozesslimitationen und mögliche Modifikationen am Produktdesign	174
7.2 Praktische Prozessvalidierung und theoretische Plausibilitätsprüfung	176
7.2.1 Praktische Prozessvalidierung	176
7.2.2 Theoretische Plausibilitätsprüfung	180
7.3 Abschließende Bewertung	187
8 Zusammenfassung und Ausblick	191
Literaturverzeichnis	195
Anhang	221