Inhalt

Danksagung 5

Lebenslauf 6

Abbildungsverzeichnis 13

Tabellenverzeichnis 18

1 Einleitung 19
1.1 Demontage 20
1.2 Montage 21

2 Pyrolyse 23
2.1 Vorüberlegungen 23
2.2 Praktischer Prozess 25

3 Mittel- und Hochspannungswicklungen 29
3.1 Formspulen 29
3.1.1 Spulenbau 30
3.1.2 Isolierung (VPI-Verfahren) 32
3.1.3 Isolierung (Resin-Rich-Verfahren) 33
3.1.4 Einlegen der Spulen 34
3.1.5 Verkeilen der Nuten 34
3.1.6 Stabilisierung der Wickelköpfe 36
3.1.7 Schaltung der Spulen 36
3.1.8 Prüfung der Wicklung 38
3.1.9 Sonderwicklungen 38
3.1.10 Optimierung der Arbeitsvorbereitung 38
3.2 Roebelstäbe 39
3.2.1 Beschreibung gemäß Patentschrift 39
3.2.2 Aufbau eines Roebelstabs 40
3.2.3 Arten von Roebelstäben 40
3.2.4 Einsatzgebiete von Roebelstäben 41
3.2.5 Leistungsbereiche und Kühlsysteme 42

3.2.6 Fertigungsvarianten und -prozesse ... 42
3.2.7 Technologische Ergänzungen ... 47
3.2.8 Hydrostäbe bei Hydrogeneratoren ... 51
3.3 Runddrahtwicklungen ... 51
3.3.1 Arbeitsschritte bei Runddrahtwicklungen ... 52
3.3.2 Runddraht-Sonderwicklungen bis 6,6 kV ... 55
3.3.3 Elektrische Prüfung der Wicklungen ... 56
3.3.4 Imprägnierung ... 57
3.3.5 Anwendungsspektrum ... 58

4 Läuferwicklungen ... 61
4.1 Überblick über Läufertypen und Einsatzbereiche ... 61
4.2 Maschinenpark ... 65
4.3 Schleifringläuferwicklungen ... 66
4.4 Schenkelpolläuferwicklungen ... 68
4.5 Vollpolläuferwicklungen ... 69
4.6 Turboläuferwicklungen ... 71
4.7 Kurzschlussläuferwicklungen ... 72
4.8 Gleichstromwicklung ... 74
4.9 Zusammenfassender Vergleich der Läuferbauformen ... 75

5 Polspulenfertigung ... 77
5.1 Fertigungsprozess von Polspulen ... 78
5.1.1 Zuschnitt ... 78
5.1.2 Einstellen und Einrichten der Polschweißmaschine ... 79
5.1.3 Vorbereitung von Anschlusswindung und Isolationsmaterialien ... 79
5.1.4 Löten und Isolieren der Windungseinzelteile ... 79
5.1.5 Pressen ... 80
5.1.6 Pressprozess ... 81
5.1.7 Tempern ... 82
5.1.8 Mechanische Bearbeitung und Strahlen ... 82
5.1.9 Endprüfung und Verpackung ... 82

6 Blechpaketfertigung ... 85
6.1 Fertigungsschritte ... 86
6.1.1 Fertigungsschritte für Reparatur von Blechpaketen ... 86
6.1.1.1 Demontage ... 87
6.1.1.2 Maßübertragung ... 87
6.1.1.3 Schneiden ... 88
6.1.1.4 Entgraten und Nachlackieren ... 91

6.1.1.5 Prüfung ... 92
6.1.2 Fertigungschritte für neue Blechpakete ... 93
6.2 Magnetische Eigenschaften von Elektroblechen ... 93
6.3 Vergleich der Schneidverfahren ... 95
6.3.1 Laserschneiden ... 95
6.3.2 Stanzen ... 95
6.3.3 Herstellen des Blechpakets ... 96

7 Drahtfertigung ... 97
7.1 Anwendungsgebiete von Wickeldrähten ... 98
7.2 Isolationsysteme von Wickeldrähten und deren Herstellung ... 99
7.2.1 Blankdrähte aus Kupfer ... 100
7.2.2 Lackierung ... 100
7.2.3 Glimmer-Folien-isolierte Flachleiter ... 102
7.2.4 Polyester-Folien-isolierte Flachleiter ... 104
7.2.5 Meta-Aramid-Papier-Bandagierung ... 105
7.2.6 Papier-Bandagierung ... 106
7.2.7 Glas-Gewebe-Umspinnung ... 107
7.2.8 Polyester-Glasgewebe-Umspinnung ... 109
7.2.9 Polyimid-Folien-Bandagierung ... 112
7.3 Blankdrahtherstellung ... 114
7.3.1 Ziehen von Profilen ... 115
7.3.2 Walzen von Profilen ... 115
7.3.3 Conform-Technik ... 117
7.3.4 Blankdrahtherstellung von Aluminium-Rund- und -Flachdrähten 118
7.4 Bandzuschnitt ... 118
7.5 Qualitätssicherung ... 119
7.5.1 Allgemeine Erläuterungen ... 119
7.5.2 In-line-Prüfungen ... 119
7.5.3 Laborprüfungen ... 120
7.5.3.1 Ermittlung der Maße ... 120
7.5.3.2 Prüfverfahren für die mechanischen Eigenschaften ... 120
7.5.3.3 Prüfverfahren für die chemischen Eigenschaften ... 120
7.5.3.4 Prüfverfahren für die elektrischen Eigenschaften ... 121
7.5.3.5 Prüfverfahren für die thermischen Eigenschaften ... 121
7.5.4 Drahtnormen ... 121
7.6 Produktivitätsfaktor vxd ... 122
7.7 Mögliche Ursachen, die zu Fehlern führen ... 122
7.8 Berechnungsformeln für den Draht ... 123
7.8.1 Berechnung des Kupfer-Querschnitts von Flachdraht ... 123

7.8.2 Berechnung der Isolationsdicke ... 123
7.8.3 Berechnung des elektrischen Widerstands von Flach- und Runddraht ... 124

8 Imprägnierung ... 125
8.1 Wärmeklassen ... 125
8.2 Imprägniermittel ... 126
8.2.1 Isolierlacke ... 126
8.2.2 Isolierharze ... 127
8.3 Imprägnierverfahren ... 129
8.3.1 Tauchimprägnieren ... 129
8.3.2 Träufelverfahren ... 130
8.3.3 Tauch-Rollier-Verfahren ... 130
8.3.4 Strom-UV-Imprägnierung ... 131
8.3.5 Vakuum-Imprägnieren ... 132
8.3.6 Vakuum-Druck-Imprägnierung (VPI) ... 132

9 Wuchten ... 135
9.1 Verfahren zum Auswuchten ... 136
9.1.1 Niedertouriges Wuchten (steifer Läufer) ... 137
9.1.2 Hochtouriges Wuchten (nachgiebiger Läufer) ... 138
9.2 Ablauf der Wuchtung eines hochtourigen Läufers ... 139
9.3 Wuchten bei Rollenlagerung ... 141
9.4 Wuchten bei Gleitlagerung ... 141
9.5 Wuchtprotokoll ... 142

10 Prüfung und Qualitätssicherung ... 145
10.1 Rolle der Qualitätssicherung im Elektromaschinenbau ... 146
10.2 Übersicht der Prüfverfahren im Lebenszyklus der Maschine ... 147
10.2.1 Eingangsprüfung von Materialien und Komponenten ... 147
10.2.2 Zwischenprüfungen während der Fertigung ... 148
10.2.3 Endprüfung nach Montage ... 148
10.2.4 Prüfungen im Service und bei Instandsetzung ... 149
10.3 Elektrische Prüfungen ... 149
10.3.1 Isolationswiderstandsmessung ... 150
10.3.2 Hochspannungsprüfung ... 150
10.3.3 Teilentladungsmessung (TE) ... 150
10.3.4 Stoßspannungsprüfung ... 150
10.3.5 Widerstandsmessung ... 151
10.3.6 Tangens-Delta-Messung ... 151

10.4 Teilentladungsmessung im Detail ... 151
10.4.1 Grundlagen und Messprinzip (nach IEC 60270) ... 151
10.4.2 Fehlerbilder und Diagnose an Wicklungen ... 152
10.4.3 Beurteilung und Interpretation der Messergebnisse ... 153
10.4.4 Grenzen, Herausforderungen, Störungen ... 153
10.5 Dokumentation, Freigabe und Kundenprotokolle ... 154
10.6 Qualitätssicherung in der Praxis – *Beispiel Döbeln* ... 155
10.7 Prüf- und Serviceeinsätze beim Kunden ... 155

Anhang ... 157

Stichwortverzeichnis ... 199