

Inhalt

Vorwort	XIII
Der Autor	XV
Informationen zum Buchaufbau	XVII
Abmusterungsscheckliste	XVII
Bezeichnungen für Abmusterungsfachkräfte	XXIV
Beschreibung der Informationsboxen	XXV
1 Einführung	1
1.1 Warum eine Werkzeugabmusterung?	1
1.2 Ablauf der Werkzeugabmusterung	2
1.3 Problemstellung Zeitfaktor bei der Abmusterung im Unternehmen ...	4
1.4 Energieeffizienz beginnt beim Abmustern	6
1.4.1 Energie- und Leistungsflüsse einer Spritzgießmaschine	7
1.4.2 Energieeinsparpotenziale der Plastifiziereinheit	9
1.4.2.1 Zylindertemperatur	9
1.4.2.2 Plastifizieren (Schneckendrehzahl)	10
1.4.2.3 Nachdruck und Nachdruckzeit	10
1.4.2.4 Restkühlzeit	10
1.4.3 Energieeinsparpotenziale der Schließeinheit	11
1.4.3.1 Zuhaltekraft	11
1.4.3.2 Werkzeugbewegungen	11
1.4.3.3 Werkzeugtemperatur	11
1.4.4 Spezifischer Energieverbrauch	12
1.4.5 Fazit der Energieeffizienz beim Abmustern	12
1.5 Die Spritzgießsimulation effektiv nutzen für eine Abmusterung	13

2	Informationsbeschaffung und Vorbereitung der Abmusterung	15
2.1	Informationsbeschaffung	15
2.1.1	Informationsblatt für Abmusterungen	16
2.2	Vorbereitung der Abmusterung	18
3	Werkzeug rüsten	21
3.1	Vor dem Werkzeugeinbau	21
3.1.1	Allgemeine Sicherheitsüberprüfungen	22
3.1.2	Überprüfung des Spritzgießwerkzeuges	23
3.1.3	Überprüfung bei Heißkanalwerkzeugen	24
3.1.3.1	Allgemeines zum Abmustern von Heißkanalwerkzeugen	24
3.1.3.2	Erstinbetriebnahme und Funktionsüberprüfung des Heißkanalsystems	25
3.1.3.3	Vorgehen beim Anfahren und Füllen eines leeren Heißkanalsystems	25
3.2	Werkzeugeinbau	26
3.2.1	Ablauf beim Werkzeugeinbau	27
4	Grundeinstellung der Schließeinheit	33
4.1	Werkzeugbewegungen	33
4.1.1	Werkzeug öffnen	33
4.1.2	Werkzeugöffnungsgeschwindigkeit	34
4.1.3	Werkzeug schließen	35
4.1.4	Einstellung der Werkzeugauswerfer	35
4.1.5	Zusatzfunktionen im Werkzeug	36
4.2	Werkzeugsicherung	36
4.2.1	Werkzeugsicherung einstellen	37
4.2.2	Funktionsüberprüfung der Werkzeugsicherung	39
4.3	Grundeinstellung der Werkzeugzuhaltkraft	40
4.4	Werkzeugtemperierung	43
4.4.1	Höhe der Werkzeugtemperatur	44
4.4.1.1	Amorpher oder teilkristalliner Thermoplast	47
4.4.1.2	Auswirkungen der Werkzeugtemperaturhöhe auf das Spritzteil	48

4.4.2	Gleichmäßige Temperaturverteilung im Werkzeug	50
4.4.2.1	Ursachen und Folgen einer ungleichmäßigen Temperaturverteilung im Spritzgießwerkzeug	51
4.4.3	Überprüfung der Durchflussmenge des Temperiermediums	54
4.4.4	Formhälften gemeinsam aufheizen	56
5	Grundeinstellung der Plastifiziereinheit	57
5.1	Zylindertemperaturen einstellen	59
5.1.1	Thermisches Verhalten von amorphen und teilkristallinen Thermoplasten	60
5.1.2	Auswirkungen der Schmelzetemperatur auf das Spritzteil und den Spritzgießprozess	62
5.1.3	Zylindertemperaturprofil einstellen	63
5.1.3.1	Temperaturprofil für amorphe Thermoplaste	64
5.1.3.2	Temperaturprofil für teilkristalline Thermoplaste	65
5.1.3.3	Temperaturprofil bei faserverstärkten Kunststoffen, hoher Kristallinität und hohen Durchsätzen	66
5.1.4	Flanschttemperatur (Materialeinzug) einstellen	67
5.1.4.1	Auswirkungen der Flanschttemperatur	68
5.1.4.2	Richtige Flanschttemperatur einstellen	68
5.2	Plastifiziervorgang einstellen	70
5.2.1	Plastifizierweg bzw. -volumen	70
5.2.1.1	Ermittlung des erforderlichen Plastifizier- volumens (cm ³)	71
5.2.2	Plastifiziergeschwindigkeit	75
5.2.2.1	Schneckendrehzahl und Schneckenumfangs- geschwindigkeit	75
5.2.2.2	Auswirkungen der Plastifiziergeschwindigkeit	78
5.2.2.3	Vorgehensweise zur Grundeinstellung der Plastifiziergeschwindigkeit	78
5.2.3	Schneckenstaudruck	79
5.2.3.1	Auswirkungen des Schneckenstaudruckes	82
5.2.3.2	Vorgehensweise zur Grundeinstellung des Schneckenstaudruckes	83
5.2.4	Schneckendekompression einstellen	84

5.3	Die Einspritzphase richtig einstellen	85
5.3.1	Einspritzdruck	85
5.3.2	Einspritzprofil	86
5.3.3	Einspritzvolumenstrom (cm ³ /s)	88
5.3.3.1	Auswirkungen der Einspritzphase	89
5.3.3.2	Ermittlung des erforderlichen Einspritzvolumenstroms (cm ³ /s)	91
5.3.4	Einspritzzeit (s)	97
5.4	Kühlzeit und Entformungstemperatur	98
5.4.1	Kühlzeit	98
5.4.2	Entformungstemperatur des Kunststoffes	99
5.4.3	Grundeinstellung der Kühlzeit	101
5.4.3.1	Kühlzeit über Simulationstechnik	101
5.4.3.2	Abschätzen mithilfe einer Näherungsformel	102
5.5	Düsenanlagepunkt abnullen und prüfen	104
5.5.1	Düsenanlagenkraft einstellen	105
5.5.2	Vorgehensweise zur Erstellung eines Düsenabdruckes	106
5.6	Bewegung der Plastifiziereinheit einstellen	106
5.6.1	Bewegungsgeschwindigkeit der Plastifiziereinheit	107
5.7	Begutachtung der Kunststoffschmelze	107
5.7.1	Überprüfung der Schmelzetemperatur	108
5.7.2	Optische Begutachtung der Kunststoffschmelze	108
5.7.3	Überprüfung der Werkzeugtemperatur	109
6	Füllstudie, Nachdruck und Werkzeugzuhaltekraft	111
6.1	Füllstudie	112
6.1.1	Erkenntnisse aus der Füllstudie	112
6.1.1.1	Erkenntnisse über das Spritzteil und das Werkzeug	112
6.1.1.2	Erkenntnisse über die Grundeinstellung der Prozessparameter	113
6.1.2	Vorgehensweise der Füllstudie und Ermittlung des Umschaltpunktes bzw. -volumens	114
6.1.3	Art der Umschaltung von Einspritzdruck auf Nachdruck	116
6.1.4	Auswirkungen der Umschaltung auf das Spritzteil und den Spritzprozess	119

6.2	Nachdruck	119
6.2.1	Nachdruckhöhe	121
6.2.1.1	Vorgehensweise zur Ermittlung des benötigten Nachdruckes	121
6.2.2	Nachdruckzeit	122
6.2.2.1	Vorgehensweise zur Ermittlung der erforderlichen Nachdruckzeit	124
6.2.3	Nachdruckprofil	126
6.3	Werkzeugzuhaltekraft	128
6.3.1	Experimentelle Optimierung der Zuhaltekraft	130
6.3.1.1	Vorgehensweise der experimentellen Optimierung der Zuhaltekraft	131
6.3.1.2	Erkenntnisse aus der experimentellen Optimierung der Zuhaltekraft	134
7	Abmusterungsanalyse der Grundeinstellung	135
7.1	Erste Musterteile fertigen	137
7.2	Wichtiges zur Durchführung einer Abmusterungsanalyse	137
7.2.1	Der Spritzgießprozess	138
7.2.1.1	Spritzgießprozessdefinition und -aufbau	138
7.2.1.2	Einflussfaktoren auf den Spritzgießprozess und das Spritzteil	140
7.2.2	Abmusterungsanalyse über Werkzeuginnendruckverlauf	145
7.2.2.1	Allgemeines zum Werkzeuginnendruck	146
7.2.2.2	Verlauf einer Werkzeuginnendruckkurve	147
7.2.2.3	Erkenntnisse aus einer Werkzeuginnendruckkurve	150
7.2.3	Abmusterungsanalyse mithilfe der Thermografie	154
7.2.3.1	Thermografie an Spritzteilen	158
7.2.3.2	Thermografie an Spritzgießwerkzeugen	159
7.2.3.3	Thermografie an Heißkanal-Systemen	160
7.2.4	Analyse der benötigten Durchflussmenge des Temperiermediums	161
7.2.5	Analyse der Verweilzeit der Schmelze im Plastifizierzylinder ..	164
7.2.5.1	Ermittlung der mittleren Verweilzeit (t_v)	165
7.2.6	Überprüfung des vorhandenen Materialtrocknervolumens	166

7.2.7	Überprüfung der Werkzeuguschierung	167
7.2.8	Überprüfung der Maßhaltigkeit des Spritzteils	168
7.3	Abmusterungsanalyse der Grundeinstellung	168
7.3.1	Abmusterungsanalyse durchführen	170
8	Optimierung der Grundeinstellung	185
8.1	Optimierung der Grundeinstellung – Teil 1	188
8.1.1	Schritt 1: Festlegung der Optimierungsstrategie	188
8.1.1.1	Ein-Faktor-Methode	190
8.1.1.2	Statistische Versuchsplanung (DoE)	191
8.1.2	Schritt 2: Durchführung von Spritzversuchen	193
8.1.2.1	Durchführung von Spritzversuchen mit der Ein-Faktor-Methode	195
8.1.2.2	Durchführung von Spritzversuchen mit Versuchsplan (DoE)	198
8.1.3	Schritt 3: Auswertung der Spritzversuche	201
8.1.3.1	Vorlage zur Auswertung der Spritzversuche	201
8.1.3.2	Festlegung der optimierten Maschineneinstellung	205
8.2	Optimierung der Grundeinstellung – Teil 2	206
8.2.1	Schritt 1: Optimierte Grundeinstellung auf Produktivität bewerten und optimieren	207
8.2.1.1	Optimierungsmöglichkeiten zur Steigerung der Produktivität	207
8.2.2	Schritt 2: Optimierte Grundeinstellung auf Energieeffizienz bewerten und optimieren	212
8.2.2.1	Optimierte Einstellung auf Energieeffizienz bewerten und klassifizieren	219
8.2.3	Optimierungsmöglichkeiten zur Steigerung der Energieeffizienz	221
8.3	Optimierung der Grundeinstellung – Teil 3	225
8.3.1	Schritt 1: Prozessfähigkeitsanalyse von Maschineneinstell- und Prozessparametern	225
8.3.2	Schritt 2: Prozess-Run@Rate der optimierten Grundeinstellung	231

9	Dokumentation der Werkzeugabmusterung	237
9.1	Warum ist eine Dokumentation so wichtig?	238
9.2	Dokumentation der Maschineneinstell- und Prozessparameter	238
9.3	Werkzeugabmusterungsbericht	243
9.4	Einberufung eines Kurz-Meetings aller abmusterungsbeteiligten Mitarbeiter	247
10	Kurz-Meeting und Maßnahmenfestlegung	249
10.1	Kurz-Meeting (Ideenkonferenz)	249
10.1.1	Vorteile eines Kurz-Meetings	249
10.1.2	Allgemeines zum Kurz-Meeting	250
10.1.3	Richtige Vorbereitung auf das Kurz-Meeting	251
10.1.4	Neutraler Besprechungsort für Kurz-Meeting	251
10.1.5	Kreativmethoden zur schnelleren Lösungsfindung	251
10.1.5.1	Brainstorming	251
10.1.5.2	Mindmapping	253
10.2	Vorgehensweise/Ablauf des Kurz-Meetings	255
10.3	Maßnahmenfestlegung und weiteres Vorgehen	258
10.3.1	Werkzeugkorrekturen bzw. Änderungen	258
11	Folgeabmusterung (Iterationsschleife) oder Freigabe	259
11.1	Folgeabmusterung (Iterationsschleife)	260
11.1.1	Informationsbeschaffung und Vorbereitung der Folgeabmusterung (Iterationsschleife)	260
11.1.2	Werkzeug rüsten und Einstellung der Schließ- und Plastifiziereinheit	261
11.1.3	Spritzteile fertigen und Abmusterungsanalyse der optimierten Grundeinstellung	261
11.1.4	Optimierung der „optimierten Grundeinstellung“ bei einer Folgeabmusterung (Iterationsschleife)	262
11.1.5	Dokumentation der Folgeabmusterung (Iterationsschleife)	262
11.1.6	Kurz-Meeting und Maßnahmenfestlegung im Anschluss an die Folgeabmusterung (Iterationsschleife)	263
11.2	Abmusterungskreislauf	263

11.3	Freigabeprozess (Werkzeugübergabe in die Serienfertigung)	264
11.3.1	Abschluss-Meeting zur Werkzeugübergabe in die Serienfertigung	264
12	Der Abmusterungsprozess neu definiert – „Process engineering goes digital“	267
12.1	Digitalisierung und Industrie 4.0	268
12.2	Warum den Abmusterungsprozess digitalisieren?	269
12.2.1	Intention der IMG-Plattform	270
12.2.2	Vorteile und Nutzen der IMG-Plattform im Unternehmen	271
12.3	Kurze Einblicke in den IMG	272
12.3.1	Aufbau, Inhalte und Funktionen	273
12.3.2	Rund um die IMG-Plattform	280
12.4	Die IMG-Plattform über „Life-Cycle“ in der Serienproduktion	285
12.4.1	Die Serienproduktion kurz im Überblick	286
12.4.1.1	Digitale Prozessmappe	287
12.4.1.2	Fehlerkatalog	288
12.4.1.3	Prozesshistorie	289
13	Schlusswort	291
Index	293