

Illig (Hrsg.)
Peter Schwarzmann

Thermoformen in der Praxis



3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

HANSER



Blieben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Die Internet-Plattform für Entscheider!

Exklusiv: Das Online-Archiv der Zeitschrift Kunststoffe!

Richtungsweisend: Fach- und Brancheninformationen stets top-aktuell!

Informativ: News, wichtige Termine, Bookshop, neue Produkte und der Stellenmarkt der Kunststoffindustrie

Kunststoffe.de

Illig (Hrsg.)
Peter Schwarzmann

Thermoformen in der Praxis

3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage

HANSER

Der Herausgeber:

ILLIG Maschinenbau GmbH & Co. KG, Robert-Bosch-Straße 10, 74081 Heilbronn, Deutschland

Der Autor:

Peter Schwarzmann, ILLIG Maschinenbau GmbH & Co. KG, Heilbronn, Deutschland

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen dargestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Darstellungen und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Darstellungen oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2016 Carl Hanser Verlag München

www.hanser-fachbuch.de

Herstellung: Jörg Strohbach

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Satz: Kösel Media GmbH, Krugzell

Druck und Bindung: Hubert & Co GmbH, Göttingen

Printed in Germany

ISBN: 978-3-446-44403-4

E-Book-ISBN: 978-3-446-44948-0

Vorwort zur 3. Auflage

Die Ergänzung der Übersetzungen Englisch, Französisch, Chinesisch, Russisch mit Spanisch, die Weiterentwicklung im Thermoformen, die Nachfrage für mehr Information zur Werkzeugtechnik, führten zu einer in wesentlichen Teilen überarbeiteten und erweiterten 3. Auflage. Die ursprüngliche Zielsetzung des Buches wurde durch den Autor, Herrn Peter Schwarzmann, konsequent weitergeführt.

Heilbronn, im Juni 2015

ILLIG Maschinenbau GmbH & Co. KG

■ Vorwort zur 2. Auflage

Der Erfolg der 1. Auflage, die auch in die Sprachen Englisch, Französisch, Chinesisch und Russisch übertragen wurde, die umfangreichen technologischen Veränderungen in der Thermoformung und neue Anwendungen führten zu einer in wesentlichen Teilen überarbeiteten und erweiterten 2. Auflage. Die ursprüngliche Zielsetzung des Buches wurde durch den Autor, Herrn Peter Schwarzmann, konsequent weitergeführt.

Heilbronn, im Oktober 2008

ILLIG Maschinenbau GmbH & Co. KG

■ Vorwort zur 1. Auflage

Die Fertigungsverfahren der Thermoformung werden in der industriellen Produktion in einem vor wenigen Jahrzehnten noch nicht für möglich gehaltenen Ausmaß angewandt. Neben den traditionellen Gebieten, der Vakuumformung von Platten für Displays, Kühlschränke oder Automobilteile hat sich das Thermoformen bei der Druckluftformung von Verpackungen einen bedeutenden Marktanteil erobert.

Ständig verbesserte Thermoplaste erlauben mit modernsten Maschinen und Werkzeugen eine Steigerung der Mengenleistung bei gleichzeitig erhöhter Präzision der Formteile. Das ursprünglich mehr handwerkliche Thermoformen hat sich als Fertigungsverfahren etabliert, das wissenschaftliche Erkenntnisse der Werkstoffkunde, der Mess- und Regelungstechnik konsequent nutzt. Die Reproduzierbarkeit der Verfahrensparameter erlaubt den Einsatz des Verfahrens in Hochleistungsanlagen für den industriellen Einsatz. Neben zahlreichen Zeitschriftenveröffentlichungen werden die Grundlagen des Thermoformens seit Jahrzehnten in Lehrgängen der ILLIG Maschinenbau GmbH & Co. KG vermittelt. Es fehlt jedoch eine zusammenfassende Darstellung der Grundlagen und Verfahren, die gleichzeitig den Studierenden und den bereits in der Praxis stehenden Ingenieuren und Technikern eine Einführung in das Fachgebiet ist und das Grundwissen zur vertieften Behandlung von Einzelfragen vermitteln kann. Die aufgezeigte Lücke mit der genannten Zielsetzung zu schließen, ist das Anliegen des Buches »Thermoformen für die Praxis«. Neben den Thermoplasten werden alle Verfahrensschritte beim Thermoformen, die wesentlichen Maschinentypen und Grundlagen für den Bau von Formen und Werkzeugen umfassend geschildert und mit Praxisbeispielen erläutert. Die Entstehungsgeschichte dieses Buches ist eng mit der 50-jährigen Firmengeschichte der Firma ILLIG verbunden. Dementsprechend ist eine Vielzahl von Anregungen und Erfahrungen eingeflossen, für deren umfassende Darstellung dem Autor, Herrn Peter Schwarzmann mein besonderer Dank gilt. Für die kritische Durchsicht des Manuskriptes, zahlreiche Verbesserungsvorschläge und Ergänzungen danke ich dem langjährigen Leiter der Entwicklung und Konstruktion bei ILLIG, Herrn Günther Kiefer und Herrn Prof. Dr. Günther Harsch. Herausgeber und Autor hoffen, dass »Thermoformen für die Praxis« die Einarbeitung in das Thermoformen erleichtert und bei der Lösung von Problemen eine nützliche Hilfe ist.

Heilbronn, im Januar 1997

Adolf Illig

Inhalt

Vorwort zur 3. Auflage	V
Vorwort zur 2. Auflage	V
Vorwort zur 1. Auflage	V
1 Einführung	1
2 Grundlagen und Begriffe im Thermoformen	5
2.1 Verfahrensablauf	5
2.2 Positiv- und Negativformung	6
2.3 Vakuum- und Druckluftformung	8
2.3.1 Unterschiede zwischen Vakuum- und Druckluftformung ...	8
2.3.2 Einsatz für Druckluftformung	9
2.4 Umformdruck, Ausformdruck, und Ausformschärfe	10
2.5 Vorblasen, Vorsaugen, Druckausgleich, Belüften	12
2.6 Schreckmarken und Markierungen	13
2.6.1 Schreckmarken an positiv geformten Teilen	13
2.6.2 Schreckmarken an negativ geformten Teilen	17
2.6.3 Ursachen für Schreckmarken	19
2.6.4 Möglichkeiten für die Reduzierung der Schreckmarken ...	19
2.6.5 Folgen der Schreckmarkenbildung	20
2.6.6 Nutzen der typischen Wanddickenverteilung in Schreckmarken bei Verschlüssen von Klappverpackungen	21
2.6.7 Schlussfolgerung mit Bezug auf Schreckmarken	22
2.6.8 Markierungen	22
2.7 Faltenbildung beim Thermoformen	23
2.7.1 Ablauf der Faltenbildung bei Positivformung	24
2.7.2 Faltenbildung bei Negativformung	27
2.7.3 Faltenbildung auf Oberflächen	28

2.8	Der Werkzeugsatz	28
2.9	Formfläche, Einzugsfläche, Spannrand	29
2.10	Niederhalter, Hochhalter	30
2.11	Umform- und Verstreckungsverhältnis	32
2.12	Entformschrägen	33
2.13	Entlüftungsquerschnitte	34
2.14	Wanddickenberechnung	34
3	Thermoplastische Halbzeuge	37
3.1	Aufbau und Struktur der Thermoplaste	37
3.2	Aufnahme von Feuchtigkeit im Halbzeug	38
3.3	Verhalten beim Aufheizen	40
3.4	Ausdehnung und Durchhang	41
3.5	Umformtemperaturbereiche	43
3.6	Reibverhalten beim Thermoformen	44
3.7	Ausformschärfe	46
3.8	Verarbeitungsschwindung beim Thermoformen	47
3.9	Der freie Schrumpf von Halbzeugen	53
3.10	Einfluss der Spannungen im extrudierten Halbzeug	57
3.11	Statische Aufladung	61
3.12	Das viskoelastische Verhalten der Thermoplaste beim Thermoformen	62
3.13	Verhalten beim Kühlen	63
3.14	Toleranzen von Halbzeugen	64
3.15	Herstellungsverfahren für thermoplastische Halbzeuge	65
3.16	Tabelle für den Thermoformer	68
3.17	Thermoplaste für das Thermoformen	73
3.17.1	Polystyrol (PS)	73
3.17.2	Schlagfestes Polystyrol (PS-HI)	74
3.17.3	Styrol-Butadien-Styrol-Blockcopolymer (SBS)	75
3.17.4	Orientiertes Polystyrol (OPS)	76
3.17.5	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer (ABS)	77
3.17.6	Acrylnitril-Styrol-Acrylester-Copolymer (ASA)	78
3.17.7	Styrol-Acrylnitril-Copolymer (SAN)	79
3.17.8	Polyvinylchlorid (PVC-U)	80
3.17.9	Polyethylen hoher Dichte (PE-HD)	80

3.17.10	Polypropylen (PP): Detaillierte Vorstellung	82
3.17.11	Extrudiertes Polymethylmethacrylat (PMMA ex)	97
3.17.12	Gegossenes Polymethylmethacrylat (PMMA g)	98
3.17.13	Polykarbonat (PC)	100
3.17.14	Polyamid (PA)	101
3.17.15	Polyethylenterephthalat, PET: Detaillierte Vorstellung	102
3.17.16	Polysulfon (PSU)	109
3.17.17	EPE und EPP-Schaumfolien	110
3.17.18	Biokunststoffe im Thermoformen	111
3.17.18.1	Abbaubare Kunststoffe aus erneuerbaren Rohstoffen	112
3.17.18.2	Nicht abbaubare Bio-Kunststoffe	118
3.17.19	Mehrschicht-, Barriere- und Verbundhalbzeuge	119
3.17.20	Sonstige Halbzeuge	128
3.17.21	Markennamen	128
4	Heizungstechniken im Thermoformen	129
4.1	Strahlungsheizungen	129
4.1.1	Prinzip der Wärmeübertragung durch Infrarotstrahlung ...	129
4.1.2	Durch Strahlung übertragbare Wärmemenge	131
4.1.3	Gleichmäßiges Beheizen mit Strahlungsheizungen	137
4.1.4	Keramik-, Quarzgut- und Hellstrahler im Vergleich	143
4.2	Reproduzierbarkeit von Heizergebnissen der Strahlungsheizungen	147
4.2.1	Beurteilung der Reproduzierbarkeit	147
4.2.2	Kompensation der nicht beeinflussbaren Außeneinflüsse auf den Heizprozess	151
4.2.3	Leistungsstellung und Temperaturregelung von Heizungen	151
4.3	Kontaktheizungen	153
4.4	Konvektionsheizungen	155
4.5	Mindestheizzeit, effektive Heizzeit und Verweilzeit	155
4.5.1	Einfluss der Heizzeit auf das Thermoformverhalten	155
4.5.2	Positive Auswirkung der Verweilzeit	156
4.5.3	Negative Auswirkung der Verweilzeit	157
5	Heizungen in Plattenmaschinen	159
5.1	Grundlagen der isothermengeregelten Heizung	160
5.1.1	Fachbegriffe	160
5.1.2	Details zur Temperaturregelung von Keramikstrahlern ...	162
5.1.3	Vorteile von Pilotstrahlern geregelten Heizungen	163

5.2	Joystickteilung des Heizbildes	164
5.3	Mehrstellungsschaltung	165
5.4	Strahlertemperaturregelung mit überlagerter Prozent-Stellung	168
5.5	IR-Messeinrichtung zur Temperaturmessung oder Steuerung von Heizungen	169
6	Heizungen in Rollenautomaten	171
6.1	Allgemeines	171
6.2	Pilotstrahlergeregelter Heizungen in Rollenautomaten	172
6.2.1	Heizung mit Temperatur-Längsreihenregelung	172
6.2.2	Heizung mit Temperatur-Gesamtfeldregelung	173
6.2.3	Heizung mit Querreihen-Regelung	174
7	Beheizen von mehrfarbigen und vorbedruckten Halbzeugen mit IR-Strahlungsheizungen	175
7.1	Allgemeines	175
7.2	Wahl der Infrarot-Strahler	175
8	Thermoformverfahren auf Plattenmaschinen	179
8.1	Positivformung	180
8.1.1	Positivformung mit mechanischem Vorstrecken	180
8.1.2	Positivformung mit Vorblasen	181
8.1.3	Positivformung mit Vorblasen gegen ein Brett	184
8.1.4	Positivformung mit Vorsaugen und Abrollen der Blase auf das Formwerkzeug	185
8.1.5	Positivformung mit Vorsaugen in eine Glocke	186
8.1.6	Einsatz von Eckenblasdüsen bei der Positivformung	187
8.2	Negativformung	188
8.2.1	Negativformung ohne Vorstreckstempel	188
8.2.2	Negativformung mit Vorstreckstempel	189
8.3	Positiv-Negativ-Formung	191
8.4	Zweikammerverfahren (3K-Verfahren)	192
8.5	Twinsheetformung	193
8.5.1	Allgemeine Regeln für die Twinsheetformung auf Serien-Thermoformmaschinen	194
8.5.2	Verfahrensablauf Twinsheetformung, UA-Maschine mit Handbeschickung	195
8.5.3	Maschinenvarianten für die Twinsheetformung	198

8.6	Klebekaschieren	200
8.6.1	Allgemeines	200
8.6.2	Kaschierverfahren	201
9	Thermoformverfahren auf Rollenautomaten, Stanzstation mit Messerschnitt	205
9.1	Prinzipieller Ablauf in der Formstation	205
9.2	Maschinenausstattungen mit Auswirkung auf die Formungsverfahren	209
9.3	Auswahl des richtigen Formungsverfahrens und des Werkzeugaufbaus	210
9.4	Hinweise für die Beeinflussung der Wanddickenverteilung	211
10	Thermoformverfahren auf Rollenautomaten, Form-Stanzwerkzeuge mit Scherschnitt	217
10.1	Kinematik der Form und Stanzstation	217
10.2	Die Besonderheiten einer mechanischen Kurvensteuerung	219
10.3	Ablaufdiagramm einer Formstation mit Form und Stanzwerkzeug mit Negativformung	220
10.3.1	Die Formluftreduzierung	221
10.3.2	Niederhalter-Steuerung	221
10.4	Ablaufdiagramm einer Formstation mit Form und Stanzwerkzeug mit Scherschnitt für Positivformung	223
11	Sonderverfahren in kombinierten Form-Stanzwerkzeugen in Rollenautomaten	225
11.1	Auskleiden von formstabilen Behältern	225
11.2	Etikettieren im Formwerkzeug (In-Mould-Labeling IML)	227
11.3	Form-Stanzwerkzeug für randlose Formteile	230
11.4	Thermoformen von Hohlboden-Bechern	231
11.5	Thermoformen mit Form und Gegenform	232
12	Thermoformen von durchsichtigen Teilen	233
12.1	Allgemeine Regeln für das Formen von durchsichtigen Teilen	233
12.2	Besonderheiten beim Formen auf Plattenmaschinen	235
12.3	Besonderheiten beim Formen auf Rollenautomaten	236
12.4	Verfahrensbeispiele - Herstellen von durchsichtigen Teilen	240
12.5	Besondere Herstellverfahren für durchsichtige Teile	245

13	Thermoformen von vorbedruckten Halbzeugen	247
13.1	Allgemeines	247
13.2	Ermittlung des Zerrdrucks	250
14	Kühlen der geformten Teile	255
14.1	Die Entformtemperatur	255
14.2	Einflüsse auf die Kühlzeit	256
14.3	Kühlen mit dem Formwerkzeug	257
14.4	Kühlen mit Luft	258
14.4.1	Stand der Technik beim Kühlen mit Luft in Platten- maschinen	259
14.4.2	Reduzierung der Werkzeugtemperatur in Verbindung mit kältererer Kühlluft	261
15	Entformen	265
16	Stapeln von Teilen	269
16.1	Allgemeines	269
16.2	Stapelung von Formteilen mit wechselnden Stapelnoppen	275
17	Nachbearbeitung an thermogeformten Teilen	277
17.1	Trennen, Schneiden	277
17.2	Entgraten	280
17.3	Verbinden	280
17.4	Recycling	282
18	Stanzen von thermogeformten Teilen	283
18.1	Messerschnitt	283
18.2	Scherschnitt	291
18.3	Vergleiche von Messer- und Scherschnitt	298
18.4	Einflussfaktoren auf das Stanzen	301
18.5	Engelshaarbildung	302
18.5.1	Verringerung der Engelshaarbildung beim Messerschnitt	307
18.5.2	Verringerung der Engelshaarbildung beim Scherschnitt in Form- und Stanzwerkzeug	307
18.6	Unsaubere Schnitte – Bartbildung	309

18.7	Stanzkräfte	311
18.8	Schlussfolgerung	313
18.8.1	Messerschnitt-Stanzwerkzeuge für separate Stanzstation ..	313
18.8.2	Scherschnitt-Stanzwerkzeuge für separate Stanzstation ...	314
18.8.3	Form-Stanzwerkzeuge mit Messerschnitt	315
18.8.4	Form-Stanzwerkzeuge mit Scherschnitt	315
18.9	Verwandte Schneidverfahren	316
19	Dekoration im Thermoformen	320
19.1	Bilder	324
20	Deformation von thermogeformten Teilen	333
20.1	Nachweis der Einflüsse auf die Deformation	333
20.2	Einfluss von Dickstellen	335
20.3	Einfluss der Spannungen im Halbzeug	335
20.4	Deformation von einem etikettierten Formteil	336
20.5	Deformation des Spannrandes eines rechteckigen Formteils	336
20.6	Deformation bei anisotroper Schwindung	337
20.7	Schlussfolgerung, Ursachen für Deformation	339
20.8	Tipps und Hinweise in Bezug auf Deformation	339
21	Thermoformwerkzeuge	341
21.1	Begriffe und Definitionen	341
21.2	Werkstoffe für das Formsegment	342
21.3	Hilfe für die Werkstoff- bzw. Variantenwahl für ein Werkzeug	346
21.4	Positiv- oder Negativ-Formung?	347
21.5	Auslegung der Formfläche	348
21.6	Verarbeitungsschwindung: Wer liefert den Wert?	352
21.7	Bestimmen der Halbzeuggröße	353
21.8	Der Unterbau	354
21.8.1	Prinzipskizzen für Werkzeugaufbauten	357
21.8.2	Verstellbare Unterbauten für Plattenmaschinen	361
21.8.3	Unterschied zwischen Festformat- und verstellbarem Unterbau	362
21.9	Gestaltungsdetails für Thermoformwerkzeuge	363
21.9.1	Seitenwandschrägen	363