

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
2 Thermoplaste	5
2.1 Aufbau und Struktur der Thermoplaste	5
2.2 Eigenschaften von Thermoplasten mit Einfluß auf den Thermoformprozeß	10
2.2.1 Aufnahme von Feuchtigkeit.....	10
2.2.2 Reibverhalten von Halbzeug beim Thermoformen	10
2.2.3 Schrumpfung und Schwindung von Thermoplasten	12
2.2.4 Orientierungen.....	14
2.2.5 Statische Aufladung von thermoplastischem Halbzeug	16
2.2.6 Verhalten von Thermoplasten beim Aufheizen	17
2.2.6.1 Einfluß der Heizzeit	17
2.2.6.2 Ausdehnung und Durchhang	18
2.2.6.3 Umformtemperaturbereiche	20
2.2.7 Verstreckung von thermoplastischem Halbzeug.....	20
2.2.8 Ausformschärfe	21
2.2.9 Verhalten von Thermoplasten beim Abkühlen.....	23
2.3 Herstellungsverfahren für thermoplastische Halbzeuge	27
2.3.1 Herstellung von Folien und Platten durch Extrudieren	27
2.3.2 Herstellen von Folien mit der Schlauchdüse (Folienblasen)	29
2.3.3 Herstellung von Folien auf Kalandern und Walzwerken	29
2.3.4 Gießen von thermoplastischen Folien und Platten.....	30
2.3.5 Sonderverfahren zur Herstellung von thermoplastischen Halbzeugen	30
2.3.6 Veredlungsverfahren für thermoplastisches Halbzeug	30
2.4 Thermoplaste für das Thermoformen im Detail	31
2.4.1 Polystyrol PS (Standard-Polystyrol).....	34
2.4.2 Schlagfestes Polystyrol SB (PS-HI).....	34
2.4.3 Styrol-Butadien-Styrol-Blockcopolymer SBS.....	35
2.4.4 Orientiertes Polystyrol OPS.....	36
2.4.5 Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymere ABS	37
2.4.6 Acrylnitril-Styrol-Acrylester-Copolymere ASA	38
2.4.7 Styrol-Acrylnitril-Copolymere SAN	39
2.4.8 Weichmacherfreies Polyvinylchlorid (Hart-PVC) PVC-U.....	39
2.4.9 Polyethylen hoher Dichte PE-HD	40
2.4.10 Polypropylen PP	41

2.4.11 Polymethylmethacrylat PMMA	42
2.4.12 Polyoxymethylen POM.....	43
2.4.13 Polycarbonat PC	44
2.4.14 Polyestercarbonat (PEC).....	44
2.4.15 Polyphenylenether PPE (früher Polyphenylenoxid PPO).....	45
2.4.16 Polyamid PA	45
2.4.17 Polyethylenterephthalat, amorph, APET	46
2.4.18 Polyethylenterephthalat, nicht kristallisierend, PETG.....	48
2.4.19 Polyethylenterephthalat, kristallisierbar, CPET.....	48
2.4.20 Polysulfon PSU.....	49
2.4.21 Polyethersulfon PES	50
2.4.22 Acrylnitril/Methacrylat/Butadien A/MA/B	50
2.4.23 Celluloseabkömmlinge CA und CAB	51
2.4.24 Cellulosediacetat (CdA).....	52
2.4.25 Polyvinylidenfluorid PVDF	52
2.4.26 Polyetherimid PEI	53
3 Grundlagen und Begriffe bei der Thermoformung	54
3.1 Formstation	54
3.2 Positiv- und Negativ-Formung	55
3.3 Resultierender Ausformdruck	56
3.4 Formfläche, Einzugsfläche, Spannrand	58
3.5 Entlüftungsquerschnitte, Bohrungen, Schlitze, Schlitzdüsen.....	59
3.6 Niederhalter und Hochhalter.....	59
3.7 Entformungsschrägen.....	60
3.8 Hinterschnitte und Losteile	60
3.9 Vorblasen, Vorsaugen, Entlüften, Druckausgleich, Belüften	61
3.10 Markierungen, Schreckmarken, Abrisse, Falten	61
3.11 Thermoformwerkzeuge und Formatteile	62
3.12 Umform- und Verstreckungsverhältnis	63
3.13 Wanddickenberechnung von Thermoformteilen	64
3.14 Schwindung und Deformation an thermogeformten Teilen	65
4 Verfahren beim Thermoformen.....	67
4.1 Positivformung.....	67
4.1.1 Positivformung mit mechanischem Vorstrecken.....	67
4.1.2 Positivformung mit Vorblasen	68

4.1.3	Positivformung mit Vorblasen und Eckenblasdüsen	70
4.1.4	Positivformung mit Vorblasen gegen eine Platte durch Vorformen mit Vorblasen und mechanischem Begrenzen der Blashöhe.....	70
4.1.5	Positivformung mit Vorblasen oder Vorsaugen in eine Glocke	71
4.1.6	Positivformung mit Vorsaugen in den Blaskästen.....	72
4.2	Negativformung	73
4.2.1	Negativformung ohne Vorstrecken.....	73
4.2.2	Negativformung mit mechanischem Vorstrecken.....	74
4.2.3	Negativformung mit Vorformen durch Vorblasen und Umstülpen mit dem Stempel	76
4.2.4	Sonderverfahren bei der Negativformung.....	77
4.2.4.1	Abformung der Oberflächenstruktur des Formwerkzeugs.....	77
4.2.4.2	Thermoformen von Halbkugeln, z.B. Hälften von Globen	78
4.3	Kombination Positiv-Negativ-Formung.....	79
4.3.1	Positiv-Negativ-Formung mit Vorblasen und Umstülpen mit Oberstempel.....	79
4.3.2	Positiv-Negativ-Formung für Formteilgeometrien mit unter- schiedlichen Ziehverhältnissen	80
4.4	Kaschieren und Auskleiden	81
4.4.1	Kaschieren mit luftdichten Folien	81
4.4.2	Kaschieren mit luftdurchlässigen Materialien	83
4.4.3	Auskleiden von formgeschäumten EPS-Behältern	84
4.5	Thermoformung mit zwei Werkzeughälften.....	85
4.6	Thermoformung von glasklaren Formteilen	86
4.6.1	Thermoformung von glasklaren Formteilen mit komplizierten Konturen und teilweise sehr hoher Verstreckung.....	86
4.6.2	Thermoformung durch freies Saugen oder Blasen	86
4.6.3	Mechanisches Umformen kombiniert mit freiem Blasen.....	87
4.6.4	Thermoformung mit Skelettwerkzeugen	88
4.6.5	Thermoformung bei niedriger Umformtemperatur	89
4.6.6	Thermoformung von Teilen mit einer glasklaren Durchsichtsfläche	90
4.7	Sonderverfahren bei der Thermoformung	92
4.7.1	Twinsheetverfahren.....	92
4.7.2	Zweikammerverfahren (Gegenkonturformung)	94
4.7.3	Thermoformung von luftdurchlässigen Materialien mit dem Gummituch.....	95
4.7.4	Thermoformung von Doppelstegplatten.....	96
4.7.5	Thermoformung von zwei übereinander eingelegten Platten.....	96

4.7.6	Prägen - Filmscharniere, Datumstempel, Nähte	97
4.7.7	Einformen von Einlegeteilen.....	98
4.7.8	Thermoformung von langfaserverstärkten Thermoplasten durch mechanisches Umformen zwischen Werkzeug und Gegenwerkzeug.....	98
4.7.9	Thermoformung von langfaserverstärkten Thermoplasten - Vorformen durch mechanisches Vorstrecken und Ausformen mit Druckluft	99
4.8	Thermoformung mit kombinierten Form- und Stanzwerkzeugen.....	100
4.8.1	Form- Stanz-Werkzeug mit Scherschnitt.....	100
4.8.2	Kombiniertes Form- und Stanzwerkzeug für randlose Formteile	105
4.8.3	Thermoformung von Hohlboden-Bechern	106
4.8.4	Form-Stanz-Werkzeug mit Quetschschnitt.....	106
4.8.5	Form-Stanz-Werkzeug mit Zackenmesser.....	107
4.9	Sonderverfahren bei der Thermoformung auf Rollenautomaten.....	110
4.9.1	Auskleiden von Bechern, Schalen, Trays.....	110
4.9.2	Etikettieren im Formwerkzeug (In-Mould-Labeling IML).....	112
4.10	Thermoformung von vorbedruckten Halbzeugen	113
5	<i>Beheizen des thermoplastischen Halbzeugs</i>	118
5.1	Anforderungen für das Aufheizen von Halbzeugen auf Plattenmaschinen.....	118
5.2	Anforderungen für das Aufheizen von Halbzeugen auf Rollenautomaten.....	119
5.3	Heizungsarten	119
5.3.1	Strahlungsheizungen.....	119
5.3.1.1	Grundlagen für Strahlungsheizungen.....	119
5.3.1.2	Strahlerarten.....	127
5.3.2	Kontaktheizungen	132
5.3.3	Konvektionsheizung.....	135
5.4	Strahlerheizungen für Plattenmaschinen.....	135
5.4.1	Heizung mit Keramikstrahlern.....	135
5.4.2	Heizung mit Quarzgutstrahlern.....	138
5.4.3	Heizung mit Halogenstrahlern	140
5.5	Strahlerheizungen für Rollenautomaten	141
5.5.1	Heizung mit Keramikstrahlern.....	141
5.5.2	Heizung mit Quarzgutstrahlern.....	142
5.5.3	Temperaturregelung des Halbzeuges in Rollenautomaten mit Strahlerheizungen.....	142
5.6	Messen von Oberflächentemperaturen an Halbzeugen	143

6 Temperieren von Thermoformwerkzeugen.....	146
6.1 Energiebedarf zum Temperieren des Thermoformwerkzeugs vor Produktionsbeginn	147
6.2 Energiebedarf des Temperiergeräts während der Produktion	148
6.3 Auslegung eines direkt temperierten Werkzeugs	149
6.4 Auslegung eines indirekt temperierten Werkzeugs	150
6.5 Auslegung der Heizung für elektrisches Beheizen	151
6.6 Beispiele zur Berechnung der Temperierleistung.....	151
6.6.1 Thermoformwerkzeug (165 kg) auf Plattenmaschine.....	151
6.6.2 Thermoformwerkzeug (400 kg) auf Plattenmaschine.....	153
6.6.3 Form- und Stanzwerkzeug auf einem Rollenautomaten	155
7 Entformen	156
7.1 Entformungstemperatur	156
7.2 Werkzeugausführung für gute Entformung	157
7.3 Druckausgleich und Entformungsluft.....	158
7.4 Entformungsgeschwindigkeit.....	158
7.5 Entformungshilfen.....	158
7.6 Reibung zwischen Formteil und Thermoformwerkzeug	161
7.7 Entformen von Hinterschnitten	162
8 Nachbearbeitung an thermogeformten Teilen.....	166
8.1 Austrennen von Formteilen mit Trennschnitt in einer Ebene.....	166
8.2 Austrennen von Formteilen mit mehrdimensionalen Schnitten	172
8.3 Entgraten	175
8.4 Verbinden.....	176
8.4.1 Kleben von Kunststoffen.....	176
8.4.2 Schweißen von Thermoplasten.....	176
8.4.3 Heißsiegeln	177
8.4.4 Verbinden durch Schrauben und Nieten	179
8.5 Versteifen	179
8.6 Oberflächenbehandlungen.....	179
9 Fehler beim Thermoformen.....	180
9.1 Gestaltungsfehler am Formteil.....	180
9.2 Fehler am Halbzeug	185

9.3 Auswahl der richtigen Thermoformmaschine	186
9.4 Fehler beim Aufstellen der Thermoformmaschine.....	187
9.5 Fehler am Thermoformwerkzeug	187
9.6 Fehler beim Einfahren von neuen Thermoformwerkzeugen.....	189
9.7 Fehler bei Bemusterungen.....	190
9.8 Fehler bei der Beheizung mit Infrarotstrahlern	190
9.9 Falscher Ausformdruck	191
9.10 Verhindern von Falten	192
9.11 Fehlersuche	193
10 Thermoformwerkzeuge	198
10.1 Grundlagen.....	198
10.2 Werkstoffwahl für Thermoformwerkzeuge	200
10.2.1 Holzwerkzeuge	200
10.2.2 Harzwerkzeuge	200
10.2.3 Aluminiumwerkzeuge.....	201
10.2.4 Stahlwerkzeuge	202
10.2.5 Sonderwerkstoffe für Thermoformwerkzeuge.....	203
10.3 Gestaltungsrichtlinien für Thermoformwerkzeuge	203
10.3.1 Seitenwandschrägen	203
10.3.2 Radien	204
10.3.3 Oberflächenrauheit der Formwerkzeuge.....	205
10.3.4 Abluftquerschnitte.....	205
10.3.5 Hohlräume	207
10.3.6 Werkzeugtemperierung.....	207
10.3.7 Auslegung der Formfläche	208
10.3.8 Werkzeuge für Filmscharniere und Schnappverschlüsse	211
10.4 Vorstreckstempel	217
10.4.1 Stempelwerkstoffe	217
10.4.2 Gestaltung von Vorstreckstempeln.....	218
10.4.2.1 Vorstreckstempel für Negativwerkzeuge	218
10.4.2.2 Vorstreckstempel für Positivwerkzeuge.....	221
10.5 Korrosionsschutz für mit Wasser temperierte Thermoformwerkzeuge	221
10.6 Messerschnittwerkzeuge	223
10.6.1 Gestalten von Bandstahlschnitt-Werkzeugen.....	223
10.6.2 Gegenlagen beim Stanzen	226

10.6.3 Zurichten von Bandstahlschnitt-Werkzeugen.....	226
10.6.4 Schnittkräfte für Bandstahlschnitt-Werkzeuge	227
10.7 Scherschnittwerkzeuge.....	230
10.7.1 Berechnung der Schnittkraft für kombinierte Form-Stanz-Werkzeuge mit Scherschnitt	231
10.7.2 Scherschnittwerkzeuge mit planebener Schnittebene für nachgeschaltete Stanzstationen.....	233
10.7.3 Scherschnittwerkzeug mit Dachschliff	234
10.8 Siegelwerkzeuge.....	235
Stichwortverzeichnis.....	237