

Thermoformen in der Praxis

Bearbeitet von
Illig (Hrsg.), Peter Schwarzmann

3., überarbeitete und erweiterte Auflage 2016. Buch. 519 S.

ISBN 978 3 446 44403 4

Format (B x L): 17,2 x 24,5 cm

Gewicht: 1198 g

[Weitere Fachgebiete > Technik > Verfahrenstechnik, Chemieingenieurwesen, Lebensmitteltechnik > Mechanische und Thermische Verfahrenstechnik](#)

schnell und portofrei erhältlich bei


beck-shop.de
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.



Leseprobe

Peter Schwarzmann

Thermoformen in der Praxis

Herausgegeben von Illig (Hrsg.)

ISBN (Buch): 978-3-446-44403-4

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

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44403-4>

sowie im Buchhandel.

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-, Quarzglas- 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	Pilotstrahlergeregelt 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 kälterer 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

21.9.2	Oberflächenrauheit	364
21.9.3	Radien	367
21.9.4	Werkzeugentlüftung, Abluftquerschnitte	368
21.9.5	Hohlräume	372
21.9.6	Werkstoffe für Vorstreckstempel	372
21.9.7	Vorstreckstempel-Konturen für Negativformung	374
21.9.8	Vorstreckstempel für Positivwerkzeuge	378
21.10	Werkzeuge mit Hinterschnitt	379
21.10.1	Entformen von Hinterschnitten ohne Losteile	379
21.10.2	Losteile (Schieber) zum Entformen von Hinterschnitten ...	379
21.11	Werkzeuggestaltung für flache Formteile mit geringer Verstreckung	380
21.12	Werkzeuge für das Formen von durchsichtigen Teilen	381
21.13	Werkzeuge für Twinsheetformung	383
21.14	Werkzeuge für Filmscharniere und Schnappverschlüsse	389
21.15	Form-Stanzwerkzeuge mit Messerschnittschnitt in Rollenautomaten	395
21.16	Form-Stanzwerkzeuge mit Scherschnitt in Rollenautomaten	398
21.17	Präventive Instandhaltung von Formwerkzeugen	411
22	Temperieren von Thermoformwerkzeugen	415
22.1	Allgemeines	415
22.1.1	Begriffe beim Temperieren	415
22.1.2	Einflüsse der Werkzeugtemperatur	416
22.1.3	Wann kann die Werkzeugtemperierung entfallen?	416
22.2	Temperiermedien	417
22.3	Werkstoffe für temperierbare Thermoformwerkzeuge	418
22.4	Varianten der Kühlkreisläufe	418
22.4.1	Beispiele für Kreisläufe in Thermoformmaschinen	419
22.5	Kühlverfahren	421
22.6	Der Kühlbedarf eines thermogeformten Teils	422
22.6.1	Das Enthalpie-Diagramm	422
22.6.2	Enthalpie-Tabellen	423
22.6.3	Erforderliche Kühlleistung eines Werkzeugs	424
22.7	Auslegung der Temperierung eines Formwerkzeugs	424
22.7.1	Zu kühlende Materialmenge (Materialdurchsatz)	425
22.7.2	Erforderliche Kühlleistung während der Produktion	426
22.7.3	Kühlwasserbedarf für die Werkzeugkühlung	427
22.7.4	Erforderliche Kontaktfläche für das Kühlwasser	427

22.7.5	Gesamtlänge der Kühlkanäle	429
22.7.6	Wassergeschwindigkeit	429
22.7.7	Resultierender Druckabfall im Werkzeug	430
22.7.8	Druckabfall beim Anschließen des Formwerkzeugs in der Maschine	432
22.8	Druckabfall in der Maschinenverrohrung	434
22.9	Druckabfall im gesamten Temperierkreislauf	435
22.10	Prüfung der Förderleistung des angeschlossenen Temperier- oder Kühlgeräts	436
22.11	Beurteilen des Prüfergebnisses	437
22.12	Konstruktive Auslegungsmöglichkeiten bei der Wärmeübertragung	438
22.13	Der Einfluss der Luftkühlung auf die Werkzeugkühlung	438
22.14	Präventive Instandhaltung	439
23	Energieverbrauch des Thermoformens	443
23.1	Allgemeines	443
23.2	Spezifischer Energieverbrauch im Thermoformen	444
23.3	Der Anteil der Energiekosten an den Herstellkosten von Ziehteilen ..	447
23.4	Möglichkeiten zur Reduzierung des spezifischen Energieverbrauchs	450
23.4.1	Energie sparen mit elektrischen Antrieben	452
23.4.2	Reduzierung des Energieverbrauchs für die Druckluft- formung	454
23.4.3	Reduzierung des zu füllenden Volumens mit Druckluft, die Formluftreduzierung	455
23.4.4	Einfluss des Druckniveaus	456
23.4.5	Reduzierung des Energieverbrauchs beim Heizen	460
23.4.6	Kosten einsparen mit neuen Vakuumpumpen	463
23.4.7	Kurze Kühlzeiten reduzieren Energiekosten	463
23.4.8	Isolieren von Verrohrungen?	465
23.4.9	Einsatz von Freiluftkühlern anstelle von Kältemaschinen mit Kompressor	465
23.4.10	Zeitversetzter Heizungsstart senkt Strompreis	465
23.4.11	Nutzung der Energieabsenkung für längere Stillstandzeiten	466
23.4.12	Nutzung der Maschinengrundeinstellung	466
23.4.13	Regelmäßige Wartung	466
23.4.14	Die dynamische Prozessoptimierung	467
23.4.15	Die Energieverbrauchsanzeige	467
23.4.16	Energieverbrauchsmessungen in der Produktion	467

24	Fehler im Thermoformen	469
24.1	Gestaltungsfehler am Formteil	469
24.2	Fehler am Halbzeug	474
24.3	Auswahl der richtigen Thermoformmaschine	476
24.4	Fehler beim Aufstellen der Thermoformmaschine	477
24.5	Fehler am Thermoformwerkzeug	477
24.6	Fehler beim Einfahren von neuen Thermoformwerkzeugen	479
24.7	Fehler bei Bemusterungen	480
24.8	Fehler bei der Beheizung mit Infrarotstrahlern	480
24.9	Leitungsquerschnitte für Luft und Vakuum	481
24.10	Verhindern von Falten	482
24.11	Fehlersuche beim Thermoformen	483
25	Literaturverzeichnis	495
25.1	Weiterführende Fachliteratur	495
Index	497

2

Grundlagen und Begriffe im Thermoformen

■ 2.1 Verfahrensablauf

Der Thermoformprozess besteht aus den Einzelschritten:

1. **Heizen** des Halbzeugs auf Umformtemperatur
2. **Vorformen** des beheizten Halbzeugs durch Vorstrecken
3. **Ausformen** des Formteils
4. **Kühlen** des Formteils
5. **Entformen** des Formteils

Heizen

Siehe Kapitel 4 »Heizen von thermoplastischen Halbzeugen«.

Vorformen

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten für das Vorformen, z. B.:

- Vorstrecken durch Vorblasen, d. h. Bilden einer Blase mit Druckluft
- Vorstrecken durch Vorsaugen, d. h. Bilden einer Blase mit Vakuum
- Mechanisches Vorstrecken mithilfe eines Vorstreckstempels, auch Oberstempel oder Vorstrecker genannt
- Mechanisches Vorstrecken mit Hilfe der Form selbst
- Kombination der oben aufgezählten Vorstreckmöglichkeiten

Ausformen

Beispiele für das Ausformen:

- Ausformen mit Vakuum (Vakuumformmaschinen)
- Ausformen mit Druckluft (Druckluftformmaschinen oder Vakuumformmaschinen mit verriegelten Formwerkzeugen)

- Ausformen mit Druckluft und Vakuum (Druckluftformmaschinen mit zusätzlichem Vakuumanschluss oder Vakuumformmaschinen mit verriegelten Formwerkzeugen)
- Ausformen durch Prägen. Das Prägen erlaubt das beidseitige Abformen von Werkzeugkonturen. Einsatz für geschäumte Halbzeuge, seltener für das Prägen und Kalibrieren von Rändern.

Kühlen

Kühlmöglichkeiten des geformten Teiles, je nach Maschinentyp:

- Kühlung durch Kontakt mit dem Formwerkzeug (meist einseitig)
- Kühlung mittels Luft in verschiedenen Varianten:
 - Luft wird von der Umgebung angesaugt (Normalfall)
 - Kühle Luft wird kundenseitig den Gebläsen zugeführt
 - In den Luftstrom wird Wassersprühnebel eingeblasen; das Verdampfen des Sprühnebels im Luftstrom kühlt die Luft ab. Bei Luftgeschwindigkeiten von ca. 10 m/s und einer Entfernung des Gebläses vom Formteil von ca. 1,5 m kühlt die Luft um ca. 10 °C ab.
(Hinweis: Bei zu hohen Luftgeschwindigkeiten werden die Formteile nass, weil die Zeit für das Verdampfen des Wassersprühnebels nicht ausreicht.)
- Freies Abkühlen an der Luft, wenn ohne Formwerkzeug geformt wird.

Entformen

Wenn der thermoplastische Kunststoff bis unterhalb seiner Erweichungstemperatur erkaltet ist, d. h. steif genug ist, wird entformt.

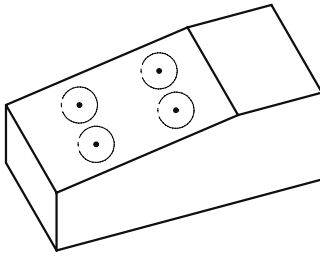
■ 2.2 Positiv- und Negativformung

Positivformung (Bild 2.1, a):

- Abformung der Außenkontur der Form (vereinfachte Definition)
- Die Rückstellkräfte im Halbzeug und die Ausformkräfte wirken in die gleiche Richtung.

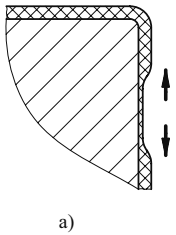
Negativformung (Bild 2.1, b):

- Abformung der Innenkontur der Form (vereinfachte Definition)
- Die Rückstellkräfte im Halbzeug und die Ausformkräfte wirken gegeneinander.

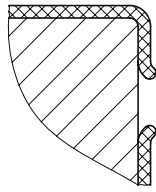


Kreisförmige Markierungen rings um Abluftbohrungen, sichtbar insbesondere an glasklaren Formteilen.

Bild 2.21 Markierungen rings um Abluftbohrungen an einem transparenten Formteil, schematisch



a)



b)

Bild 2.22

Abstrich und Aufriss

a) Abstrich an einem Positivformteil

b) Aufriss an einem Positivformteil

■ 2.7 Faltenbildung beim Thermoformen

Unter Faltenbildung versteht man das ungewollte Zusammenlegen von Grenzflächen innerhalb eines beheizten Halbzeuges während des Formvorgangs. Faltenbildung kann sowohl in negativ als auch auf positiv geformten Teilen erfolgen. Beispiele für Falten, siehe Bild 2.23.

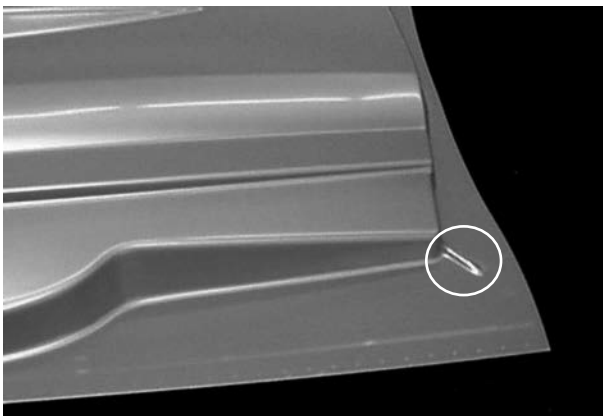
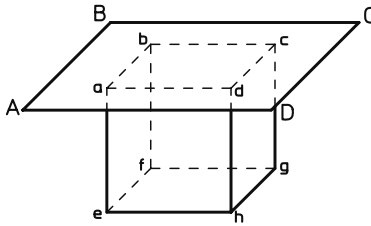


Bild 2.23

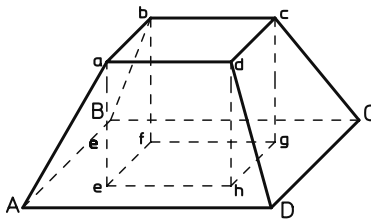
Falte an Ecke eines positiv geformten Teiles

2.7.1 Ablauf der Faltenbildung bei Positivformung

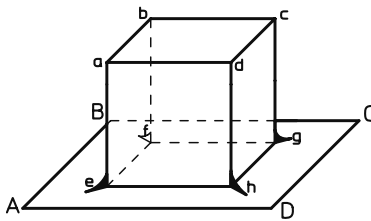
Der Ablauf der Faltenbildung kann Bild 2.24 entnommen werden.



ABCD = beheiztes Halbzeug (Formfläche)
abcd = obere Kontaktfläche der Form mit dem Halbzeug



Vorformen als Vorstreckvorgang mit der Form beendet, Ausformen noch nicht begonnen



Fertig geformtes Formteil mit Falten an den unteren Ecken

Bild 2.24 Ablauf Faltenbildung bei Positivformung

Erklärung der Faltenbildung bei Positivformung

Das Bild 2.25 zeigt eine Skizze zur Erklärung der Faltenbildung.

1. Bevor das Ausformen mit Vakuum oder Druckluft einsetzt, ist das heiße Halbzeug zwischen der oberen Ebene abcd der Positivform zum Einspannrand ABCD wie ein Zelt gespannt.

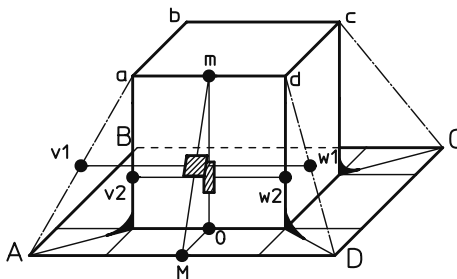


Bild 2.25
Schematische Erklärung der Faltenbildung an Positivform

Metallisierte Folien lassen sich von der metallisierten Seite schlecht mit Infrarotstrahlern beheizen, weil Aluminium die Infrarotstrahlung sehr gut reflektiert. Metallisierte Folien lassen sich meist einwandfrei thermoformen.

Galvanisieren

Galvanisierte Platten mit einer kompakten Galvanoschicht, so genannte Spiegelplatten, lassen sich – bedingt durch die kompakte Aluminiumschicht beim Thermoformen nur begrenzt verstrecken. Sowohl metallisierte als auch galvanisierte Halbzeuge reflektieren bei Strahlerheizungen auf der beschichteten Seite die Wärmestrahlung und können deshalb nur von der nicht metallisierten Seite mit Erfolg beheizt werden. Sollen Formteile nach der Thermoformung galvanisiert werden, muss spezielles galvanisierbares Halbzeug verwendet werden.

■ 3.16 Tabelle für den Thermoformer

Die Tabelle beinhaltet alle wichtigen Daten für einen Thermoformer (Tabelle 3.2), bezogen auf die gebräuchlichsten Halbzeuge.

Tabelle 3.2 Tabelle für den Thermoformer (unverbindliche Angaben)

Thermoplast	Kurzzeichen	Dichte	Zugfestigkeit	E-Modul	Optische Transparenz	Lineare Wärmeausdehnung	Spezifische Wärme	Dauergebrauchstemperatur	
								min.	max.
	–	g/cm ³	N/mm ²	N/mm ²	+ ja – nein	10 ⁻⁶ °C	kJ/ kg · K	°C	°C
Polystyrol, Standard	PS-GP	1,05	55	3350	+	75	1,3	- 10	70
Polystyrol, schlagfest	PS-HI	1,05	32	2150	- (+)	70	1,3	- 40	70
Styrol-Butadien-Styrol	SBS	1,03	31	1800	+	90	1,3	- 20	70
Polystyrol, orientiert	OPS	1,05	57	3200	+	70	1,3	- 60	79
Acrylnitril-Butadien-Styrol	ABS	1,05	50	2500	+	90	1,3	- 45	85
Acryl-Styrol-Acrylester	ASA	1,07	36	2050	-	95	1,3	- 40	75
Styrol-Acrylnitril	SAN	1,08	73	370	+	80	1,3	- 20	80
Polyvinylchlorid, hart	PVC-U	1,39	58	2900	+	75	0,9	- 5 (- 25)	65
Cycloolefin-Copolymer	COC	1,02	66	3200	+	65			170
Polyethylen, hoher Dichte	PE-HD	0,95	28	1100	-	200	2,1– 2,7	- 50	95
Polypropylen	PP	0,91	30	1200	- (+)	150	2,0	0 (- 30)	110

Tabelle 3.2 Tabelle für den Thermoformer (unverbindliche Angaben) (Fortsetzung)

Thermoplast	Kurzzeichen	Dichte	Zugfestigkeit	E-Modul	Optische Transparenz	Lineare Wärmeausdehnung	Spezifische Wärme	Dauergebrauchstemperatur	
								min.	max.
	–	g/cm ³	N/mm ²	N/mm ²	+ ja – nein	10 ⁻⁶ °C	kJ/ kg·K	°C	°C
Polymethylmethacrylat, extr.	PMMA, ext	1,18	80	3300	+	70	1,47	-40	70
Polymethylmethacrylat, geg.	PMMA, geg	1,18	80	3300	+	70	1,47	-40	80
Polyoxymethylen, Polyacetal	POM	1,41	66	3000	+	100	1,5	-40	100
Polycarbonat	PC	1,2	61	2300	+	65	1,17	-100	130
Polyestercarbonat	PAR	1,2	66	2300	+	72	1,1	-40	145
Polyphenylenether (-Oxid)	PPE (PPO)	1,08	55	2450	-	70	1,4	-30	80
Polyamid 6, 15 % GF-verstärkt	PA 6 GF15Z	1,22	114	5900	-	61	1,5		140
Polyamid 12	PA 12	1,02	60	1600	-	150	1,6	-70	80
Polyethylenterephthalat, amorph	PET-G	1,27	49	1720	+	51	1,1		63
Polyethylenterephthalat, amorph	A-PET	1,34	30	2200	+	80	1,05	-40	70
Polyethylenterephthalat, kristall.	C-PET	1,37	47	2600	-	70	1,1	-20	220
Polysulfon	PSU	1,24	80	2650	+	56	1,3	-70	150
Polyethersulfon	PES	1,37	80	3000	+	55	1,1		180
Polyphenylsulfid	PPS	1,62	125	12000	-	29			240
Acrylnitril-Methacryl-Butadien	A/MA/B	1,15	56	3450	+	66	2,0	-200	70
Celluloseacetat	CA	1,28	37	1800	+	110	1,6	-40	80
Cellulosediacetat	CdA	1,27	40	1000	+			-20	60
Celluloseacetobutyrat	CAB	1,18	26	1600	+	120	1,6	-40	60
Polyvinylidenfluorid	PVDF	1,78	43	1500	-	120	0,96	-40	120
Polyetherimid	PEI	1,27	105	2800	-	56			170
PET-Elastomer	TPE-E	1,17	28	55	-			-50	105
Thermoplastische Stärke (Blends)	TPS-Blends	1,1-1,39							70-80
Polylactidacid Polymilchsäure	PLA	1,21-1,43	10-60	3500	+		1,3	-20	60-70
Lignin	Lignin	1,3-1,4	25-61	1500-6670	+				85-120

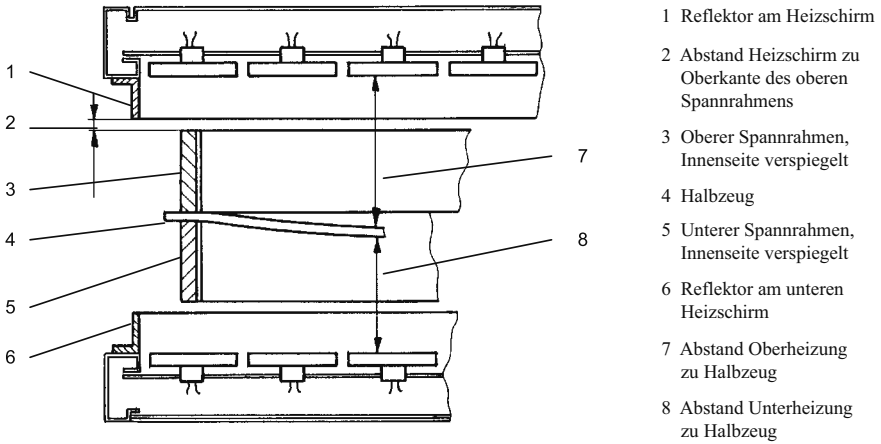


Bild 4.12 Reflexionsflächen bei Plattenmaschinen (prinzipielle Darstellung)

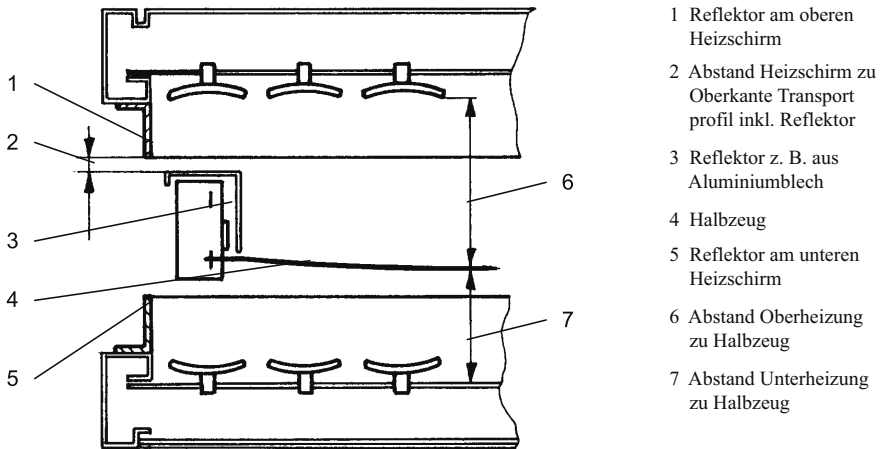


Bild 4.13 Reflexionsflächen bei Rollenautomaten (prinzipielle Darstellung)

Auswirkung der Transportschritte unter einer langen Heizung

Jeder Punkt an der Oberfläche des Halbzeuges muss in der Formstation die gleiche Temperatur aufweisen. Dazu muss beachtet werden, dass jeder Punkt in Vorschubrichtung gleich oft beheizt wird. Ist dies nicht der Fall, besteht die Möglichkeit, die Strahlung abzublenden oder Strahlerquerreihen abzuschalten (Bild 4.14 und Bild 4.15).

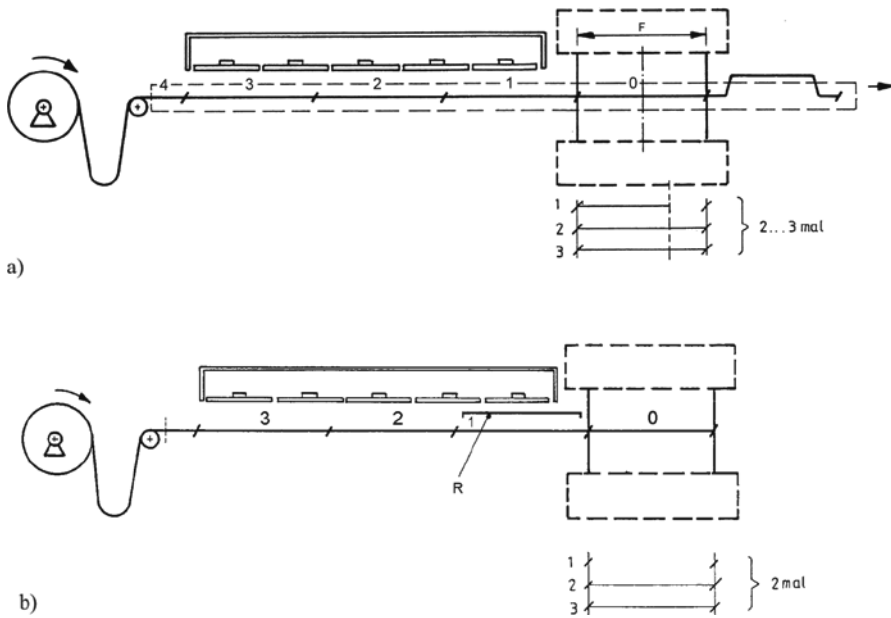


Bild 4.14 Prüfung des Heizens über eine ganze Zahl von Vorschüben (2- oder 3-mal)
 Fall: Tischbreiten der Maschine breiter als das Formwerkzeug
 0, 1, 2, 3, 4 Schritte (Rückwärtszählung) beim Transportieren
 F: Formfläche (Vorschub)

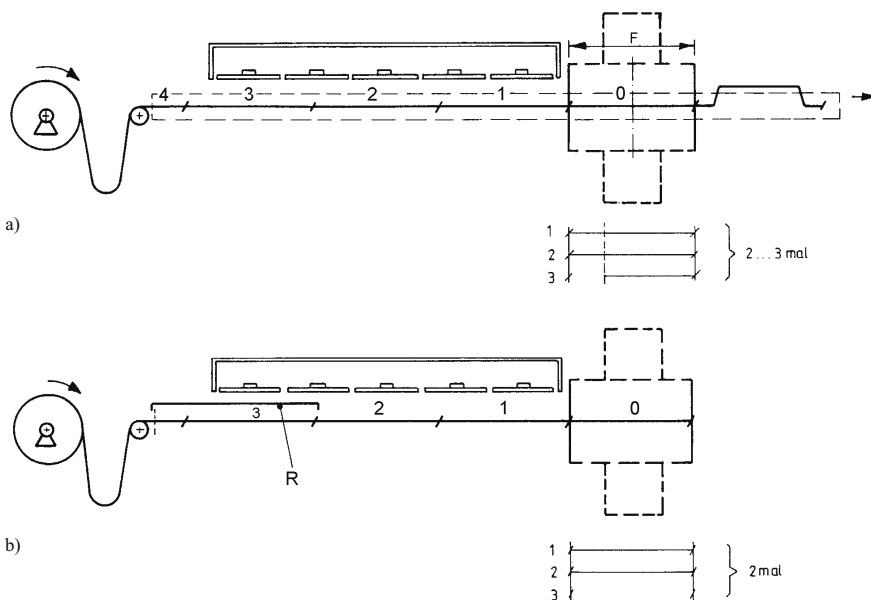


Bild 4.15 Prüfung des Heizens über eine ganze Zahl von Vorschüben (2-, oder 3-mal)
 Fall: Tischbreiten der Maschine schmaler als das Formwerkzeug
 0, 1, 2, 3, 4 Schritte (Rückwärtszählung) beim Transportieren
 F: Formfläche (Vorschub)

8

Thermoformverfahren auf Plattenmaschinen

Der Ablauf beim Thermoformen kann in zwei Schritte unterteilt werden, das Vorformen oder Vorstrecken und das Ausformen. Weil in vielen Fällen die alleine durch das Ausformen mit Vakuum oder Druckluft erreichte Wanddickenverteilung nicht zufrieden stellt, muss vorgeformt werden. Ziel des Vorformens ist es, eine Kontur zu erreichen, die der Kontur des Fertigteils möglichst nahe kommt. Die Ausformschärfe wird beim Ausformen erzeugt. Das Vorformen ist in den meisten Fällen wichtiger für die Wanddickenverteilung als das Ausformen.

Das Vorformen ist immer ein Vorstrecken und kann auf unterschiedliche Art erfolgen:

- mechanisches Vorstrecken mit dem Formwerkzeug selbst
- mechanisches Vorstrecken mit einem Hilfsstempel
- pneumatisches Vorstrecken durch Vorblasen oder Vorsaugen
- Kombination von mechanischem und pneumatischem Vorstrecken

Das Ausformen erfolgt, je nach Ausrüstung der Maschine und Aufbau des Formwerkzeugs, mit:

- Vakuum (Vakuumformung)
- Druckluft (Druckluftformung)
- Vakuum und Druckluft
- beidseitigem Vakuum (z. B. für Schäume)
- zusätzlichem Prägen, Quetschen, Kalibrieren, meist nur von begrenzten Teilflächen

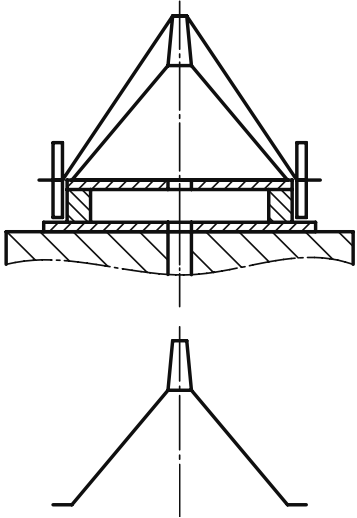
Mechanische Hilfen wie Schieber, Stempel, dienen meist der Verhinderung von Falten während des Ausformens. In einigen Fällen erfolgt das Formen nur durch mechanisches Strecken, ohne mit Vakuum oder Druckluft auszuformen. Dadurch entstehen so genannte Freiformflächen.

Die weiter unten aufgeführten Formungsverfahren werden alle in folgender Kombination erklärt:

- Skizze des Formungsverfahrens
- die wichtigsten Schritte des Ablaufs
- wichtige Hinweise/zu beachten
- möglicher Eingriff durch den Maschinenbediener und der dadurch erfolgte Einfluss auf das Ziehteil
- erforderliche Maschinenausstattung

■ 8.1 Positivformung

8.1.1 Positivformung mit mechanischem Vorstrecken



Vorformen:

- Vorstrecken mit der Form
- Mit oder ohne Vorblasen

Ausformen:

- Mit Formtisch oben Vakuum ein

Bild 8.1 Ablauf – ohne Vorblasen, ohne Obertisch

Zu beachten

- Wanddickenverteilung im Bereich der Spitze

Tabelle 8.1 Positivformung

Eingriff durch den Bediener	Einfluss auf das Ziehteil
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Blasenhöhe = 0...gering ▪ Blasenhöhe entspricht 2/3 der Formhöhe ▪ Blasenhöhe entspricht Formhöhe 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Spitze dick ▪ OK ▪ Risiko der Faltenbildung auf der Oberfläche
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kaltes Formwerkzeug ▪ Heißes Formwerkzeug 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Spitze dicker ▪ Spitze dünner
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kleine Tischgeschwindigkeit ▪ Große Tischgeschwindigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Spitze dicker ▪ Spitze dünner
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kalte Form und kleine Tischgeschwindigkeit, ohne Vorblasen ▪ Heiße Form und hohe Tischgeschwindigkeit, mit Vorblasen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dickste Spitze ▪ Dünnsste Spitze

Erforderliche Maschinenausstattung

Dieses Formungsverfahren kann auf allen Thermoformmaschinen mit Grundausstattung durchgeführt werden.

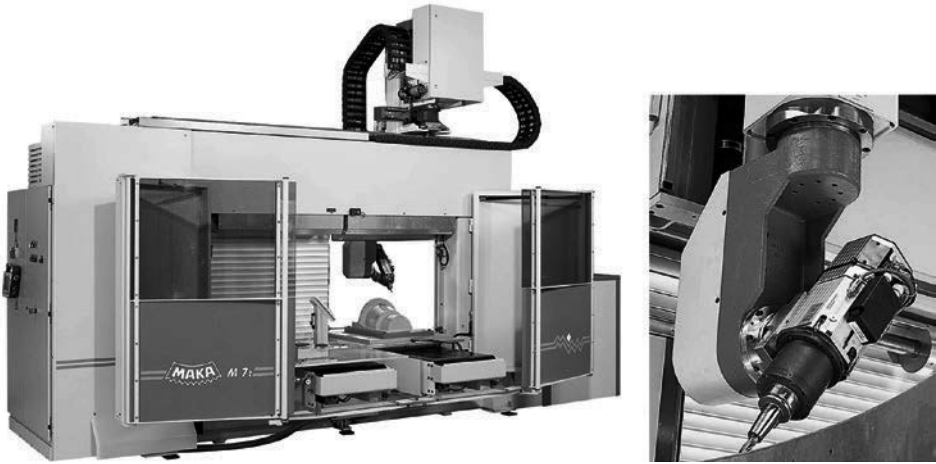


Bild 17.3 Links: 5-Achsen-Fräsmaschine (Bild Fa. MAKA). Rechts: Frässpindel

■ 17.2 Entgraten

Nach dem Stanzen mit Bandstahlschnitt, Durchfallschnitt, Scherschnitt und Schneiden mit dem Laser ist kein Entgraten erforderlich. Entgratet wird, wenn der Schnitt unsauber ist:

- nach dem Sägen mit der Trennsäge
- in einige Fällen nach dem Fräsen
- in vielen Fällen nach dem Wasserstrahlschneiden

Die Entgratung erfolgt entweder von Hand mit einem Entgratungsmesser bzw. mit elektrischen Entgratungsbürsten oder vollautomatisch (z. B. auf mehrachsigen Maschinen).

■ 17.3 Verbinden

Schweißen

Für thermoplastische Kunststoffe stehen verschiedene Schweißverfahren zur Verfügung:

- Rotationsschweißen
- Ultraschallschweißen

- Vibrationsschweißen (Winkelschweißen)
- Heizelementschweißen (Spiegelschweißen)
- Warmgasschweißen
- Hochfrequenz-Schweißen
- Induktionsschweißen

Für thermogeformte Formteile werden folgende Schweißtechniken eingesetzt:

- Ultraschalltechnik
- Vibrationstechnik
- HF-Technik (Hoch-Frequenz)
- Heizelementschweißen

Nicht alle Kunststoffe eignen sich für das Ultraschall- und das HF-Schweißen.

Kleben

Für das Kleben stehen geeignete, handelsübliche Klebstoffe zur Verfügung. Die zu verklebenden Oberflächen müssen sauber und fettfrei sein und sollten aufgeraut werden. Kunststoffe mit »antiadhäsiven« Oberflächen, wie z. B. PE, PP, POM, benötigen aufwendige Oberflächenvorbehandlungen (Abflammen, elektrische Oberflächenentladungen oder chemische Vorbehandlungen). Hinweise für die Auswahl von Klebstoffen, siehe Kapitel 3 »Thermoplastische Halbzeuge«, bei den dort besprochenen Kunststoffen. Bei Bedarf sollte ein Kleberhersteller zurate gezogen werden.

Nieten, Schrauben

Da die Festigkeit von Kunststoffen nicht so hoch ist wie die von Metallen, sollte man entsprechend höhere Durchmesser bzw. Druckflächen, ähnlich wie bei Holz, benutzen.

Es gibt spezielle Kunststoffschrauben für das Verschrauben von Kunststoffen.

Versteifen

Die Steifigkeit eines Formteils ist abhängig:

- vom verwendeten Kunststoff (E-Modul)
- von der erzielten Wanddicke beim Thermoformen
- von der Gestalt des Formteils (Länge, Breite, Höhe, Radien, Rippen usw.)
- von der Gebrauchstemperatur

Die Versteifung ist sinnvoll, wenn:

- a) die durch das Thermoformen erzielte Steifigkeit nicht ausreicht,
- b) eine nachträgliche Versteifung kostengünstiger ist als das Einsetzen von dickerem oder teurerem Ausgangsmaterial,

■ 18.4 Einflussfaktoren auf das Stanzen

Einflüsse des zu stanzenden Kunststoff

Merkmal	Einfluss auf ...
Kunststofftype	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Spezifische Stanzkraft, siehe Abschnitt 18.7 »Stanzkräfte« ▪ Lebensdauer des Schnittwerkzeugs ▪ Abrasive Füllstoffe in der Folie und abrasive Druckfarben auf der Folie reduzieren die Standzeit ▪ Engelshaarbildung

Einflüsse des zu stanzenden Formteils und der Auslegung der Formfläche

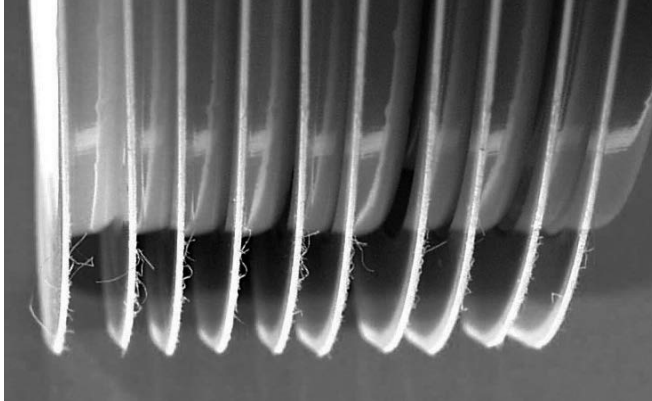
Merkmal	Einfluss auf ...
Materialdicke an der Stanzstelle	Stanzkraft
Gesamt-Schnittlänge	Stanzkraft Zusätzlich muss berücksichtigt werden: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Anzahl und Größe der Radien pro m: kleine Radien erhöhen die Verdrängungskräfte und somit auch die erforderliche Stanzkraft. ▪ Anteil der Schnittlänge mit engen parallelen Schnittlinien (unter 12 mm) von der Gesamtschnittlänge erhöht die Stanzkraft
Stanzrandtoleranz	Wahl des Stanzverfahrens
Schnittqualität (Haptik)	Wahl des Stanzverfahrens

Einflüsse der Maschine/Stanzstation

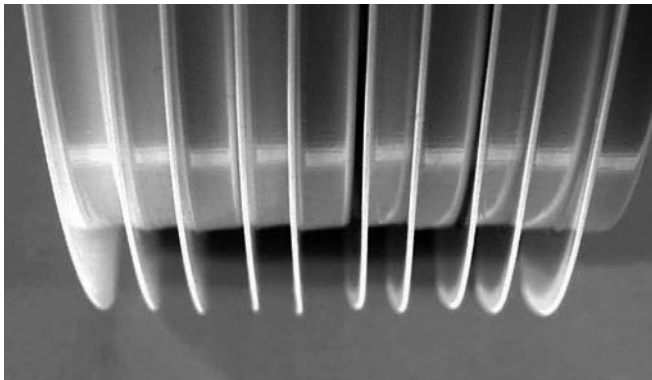
Merkmal	Einfluss auf ...
Stanzkraft	Stanzlänge / Auslegung der Formfläche / Ausstoß der Maschine
Stanzfläche	Stanzlänge / Auslegung der Formfläche / Ausstoß der Maschine
Steifigkeit der Stanzstation	Bei Messerschnitt in separater Stanzstation: Einfluss auf die Standzeit der Schnittlinie
Stanzgeschwindigkeit (Schnittgeschwindigkeit)	Wirkung der beheizten Stanzlinie, wenn die Schneide langsamer schneidet
Verstelleinrichtung für Messerschnitt (Position der Quer und Winkellage des Schnittwerkzeugs zur Durchlaufrichtung)	Stanzrandgenauigkeit Anpassmöglichkeit auf Verzug (Deformation) des geformten Folienbands

■ 18.5 Engelshaarbildung

Bild 18.22 zeigt gestanzte Ränder mit und ohne Stanzfäden (Engelshaar).



Stanzfäden am Rand = „Engelshaar“



Rand ohne Stanzfäden

Bild 18.22 Stanzrand einer Schale aus PS-HI, Randdicke 0,6 mm

22.7.2 Erforderliche Kühlleistung während der Produktion

$$Q = m \times \Delta H \times k \times S \quad (22.3)$$

Q = Kühlleistung, in kJ/h

m = Materialdurchsatz pro Stunde, in kg/h

ΔH = Enthalpie-Differenz während der Kühlzeit, in kJ/kg
Siehe Grafik in Bild 22.3 oder die Werte in tabellarischer Form

k = Faktor für anteilige Kühlung durch Kontakt mit dem Formwerkzeug (ohne die Luftkühlung)

- für Maschinen ohne Luftkühlung (RDM, RDKP usw.) $k = 1$
- für Maschinen mit Luftkühlung (UA) $k = 0,5 \dots 0,7$

S = Faktor für Berücksichtigung der Verlustwärme

- für Werkzeugtemperatur 15...50 °C, $S = 0,1 \dots 0,95$
- für Werkzeugtemperatur 50...100 °C, $S = 0,95 \dots 0,85$
- für Werkzeugtemperatur 100...140 °C, $S = 0,85 \dots 0,75$

Bei sehr heißen Werkzeugen verliert das Werkzeug ein Teil seiner Wärme an die Umgebung. Dementsprechend muss dem Werkzeug weniger Kühlleistung durch das Kühlwasser zugeführt werden.

Beispiel (Fortführung):

m = 279,14 kg/h

ΔH = 198 kJ/kg

k = 0,6

S = 0,9

$$\begin{aligned} Q &= m \times \Delta H \times k \times S \\ &= 29.845 \text{ kJ/h} = 8,3 \text{ kW} \end{aligned} \quad (22.4)$$

Mit der errechneten Kühlleistung kann nun die zur Verfügung stehende Kühlleistung eines vorhandenen Kühlgeräts überprüft werden. Wird die Wärme des Formwerkzeugs nicht direkt mit dem Kühlwasser abgeleitet, sondern geschieht dies über einen Wärmetauscher eines Temperiergeräts, kann mit diesem Wert auch der Wärmetauscher geprüft werden. Für Temperiergeräte mit Wärmetauscher wird dies unter »Kühlleistung« angegeben. Falls die gesamte Wärme über zwei oder mehr Temperiergeräte abgeführt wird, muss dies berücksichtigt werden.

22.7.3 Kühlwasserbedarf für die Werkzeugkühlung

Der Kühlwasserbedarf kann mit der Formel berechnet werden:

$$V = \frac{1}{60 \times \Delta T_M} \times \frac{Q}{c_M \times \rho_M} \quad (22.5)$$

Für Wasser gilt:

$$V = \frac{1}{250,8} \times \frac{Q}{\Delta T_M} \quad (22.6)$$

V = Kühlwasser-Gesamt-Volumenstrom, in Liter/min

Q = Kühlleistung, in kJ/h

ΔT_M = Differenz Ein- zu Auslauftemperatur des Kühlmediums (Wasser), in °C

■ für Form-Stanz-Werkzeuge (RDM) $\Delta T_M = 1$ bis 2°C

■ für sonstige Formwerkzeuge (UA, RV, RDKP usw.) $\Delta T_M = 3$ bis 10°C

c_M = spezifische Wärme des Wärmeträgers, in kJ/kg K

■ für Wasser, $c_M = 4,18$ kJ/kg K

ρ_M = Dichte des Kühlmediums in g/cm³

■ für Wasser, $\rho_M = 1$ g/cm³

Beispiel (Fortführung):

$Q = 29.845$ kJ/h

$\Delta T_M = 7,5^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{250,8} \times \frac{Q}{\Delta T_M} \\ &= 15,9 \text{ Liter/min} \end{aligned} \quad (22.7)$$

22.7.4 Erforderliche Kontaktfläche für das Kühlwasser

Die Kontaktfläche des Kühlwassers kann mit der folgenden Formel berechnet werden. Die Berechnungen gelten nur für saubere Kühlkanäle ohne Ablagerungen.

$$A = \frac{Q}{3600 \times \alpha} \times \frac{1}{\Delta T_{MF}} \quad (22.8)$$

Index

Symbole

3K-Verfahren 192
6-Stellungsschaltung 166

A

Abändern der Kontur eines Vorstreckstempels 376
abbaubare Kunststoffe 112
Abdeckschulter 402
Abfallbereich 472
Ablaufdiagramm 220, 223
Abluftführung 369
Abluftkanal 369
Abluftkanalsystem 369
Abluftquerschnitte 368
Abriss und Aufriss 23
ABS 77
Abschreckmarken 262
Absorption der IR-Strahlung 130
Abstände für Negativ-Formsegment 350
Abstände für Positiv-Formsegmente 348
Abstände zum Spannrahmen 349
Abstand zwischen Heizstrahler 134
AB-Stapelung 275
AIOx 122
Aluminium-Keramik-Feinguss 345
Aluminium mit Harz-Frontgussbeschichtung 345
Aluminiumwerkzeuge 344
amorph 37
anisotroper Schwindung 337

Anschnittstelle 402
arithmetische Mittenrauwert R_a 364
ASA 78
Aufhängeloch für Verpackungen 316
Aufheizen 40
Aufteilung des Energieverbrauchs 448
Ausdehnung 41
Ausformdruck 11
Ausformen 5
Ausformschärfe 46, 59
ausgeschalteter Strahler 136
Auskleiden 225
Auspiegeln 138
Auspiegeln der Spannrahmen 461
Auswahl des richtigen Formungsverfahrens 210

B

banderoliert 328
Bandstahlschnitt 395
Bandstahlschnitlinien 286
Barriere 119
Barriereeigenschaften 120 f.
Bartbildung 310
Bearbeitungszugaben 472
Becherränder 401
Becherrandformen 401
Beeinflussung der Wanddickenverteilung 211
beflockt 324, 331
Beheizen von mehrfarbigen Halbzeugen 175

beheizte Holzwerkzeuge 245
 Bemusterungen 480
 Bestimmung der Halbzeuggröße 353
 Biokunststoffe 111
 Bio-PE 119
 Bio-PET 118
 Bio-PP 119
 Bläschen 39, 236
 Blasnadeln 387
 Blisterkonturen 472
 Blockverhalten 107
 Bohrungen 368

C

CA 118
 Cockpit-Verglasungen 246
 CPET 102f.

D

Dauergebrauchstemperatur 57
 Deckelwerkzeug 397
 Deformation 263, 333
 Dekoration 320
 Depolymerisation 157
 Dichtstellen der Unterbauten 362
 Dickentoleranzen 64f.
 Digitaldruck 330
 Doppelschnitt 306
 Dreidimensionale Schnitte 279
 Druckausgleich 12, 265
 Druckbildvarianten 247
 Druckfarbe 247
 Druckknöpfe 394
 Druckknopf-Negativteil 21
 Druckknopf-Positivteil 21
 Druckverstärker 407
 Durchfallschnitt 398
 Durchhang 41, 56
 durchsichtig 233, 381
 dynamische Prozessoptimierung 467

E

Eckenblasdüsen 187
 Eckfalten 378
 effektive Heizzeit 155
 Einfahren 479
 Einflussmöglichkeit auf die Wanddicken-
 verteilung 214
 Einsatz der IR-Messeinrichtung 169
 Einsatztechnik 399
 Einzugsbereich 472
 elektrische Leitfähigkeit 413
 Emissionsfaktor der Oberfläche eines
 Strahlers 136
 Emissionsgrad 131
 Empfehlungen für Rauheiten 366
 empfohlene Abluftbohrungen 370
 Endlofaser 125
 Energiekosten 447
 Energierückspeisung 453
 Energieverbrauch 443
 Energieverbrauchsanzeige 467
 Energieverbrauchsmessung 457, 467
 Engelshaar 302
 Entformen von Hinterschnitten 266
 Entformschrägen 33
 Entformtemperatur 255, 265
 Entformungsbewegung 267
 Entformvorgang 265
 Entgraten 280
 Entlüftungsquerschnitte 34
 EPE 110
 EPET 102
 EPP 110
 erforderlicher Querschnitt 370
 Erhöhung des Formsegments 381
 erreichbare Umformverhältnisse 470
 Etikettieren 227
 EVOH 86, 122
 Extrudieren 65
 Extrusionsrichtung 55

F

Faltenbildung 23, 59
 – auf Oberflächen 28
 – bei Negativformung 27
 – bei Positivformung 24
 faserverstärkt 124
 Faustregeln für das Entformen 267
 Fehler am Halbzeug 474
 Fehler am Thermoformwerkzeug 477
 Fehlersuche 483
 Festigkeit 60
 Feuchtigkeit 38
 Feuchtigkeitsbläschen 38
 Filmscharnier 389
 Filz 373
 Flächenfalten 28
 Folienextrusion 86
 Formatdruck 247
 Formeinsatz 403
 Formen von durchsichtigen Teilen 233
 Formfläche 29
 Formluftreduzierung 221, 411, 455
 Form-Stanzwerkzeug mit Messerschnitt 289
 Form-Stanzwerkzeug mit Scherschnitt 296
 Form und Gegenform 232, 240
 freier Schrumpf 53
 freies Blasen 240
 freies Saugen 240
 Freiluftkühler 465

G

galvanisiert 331
 ganze Zahl von Vorschüben 141
 gefüllt 84
 gemittelte Rautiefe Rz 365
 genarbt 324
 geprägt 326
 Gesamtfeld-Regelung 173
 Gesamthärte 413
 Gesamtschwindung 47
 Gestaltungsfehler 469
 Gewebe 125

Gießen von Halbzeugen 66
 Glanzschicht 120
 gleichmäßig beheizt 137f.
 Grobbeschnitt 279
 Grundeinstellung 466

H

Haftvermittler 122
 Harz 373
 Harz-Frontgussbeschichtung 344f.
 Harzwerkzeuge 343
 Heizungsarten 129
 Heizungstechniken 129
 Hellstrahler 144
 Hinterfütterung 344
 Hinterschnitt 379
 Hochhalter 31
 Höhenübergänge 473
 Hohlboden 231
 Hohlräume 372
 Holzwerkzeuge 343, 364
 Horizontal-Trennsäge 277
 Hubschrauberverglasungen 245
 hygroskopisch 38

I

ILLIG-RDKP-Maschine 360
 ILLIG-RV-Maschine 358f.
 ILLIG-SB-Maschine 357f.
 ILLIG-UA-Maschine 359
 IML 227
 IML-T 327
 Infrarotsensor 169
 Infrarotstrahlung 129
 Inline-Thermoformen 94
 interne Spannungen 58
 IR-Messgerät bei leistungsgestellten Heizungen 169
 Isothermen 160
 isothermengeregelte Heizung 160

J

Joystickteilung des Heizbildes 164

K

Kalander 66
 kältere Formwerkzeuge 264
 Kaschieren mit Schnapphub 203
 Kaschiermöglichkeiten in den Rand-
 bereichen 202
 kaschiert 327
 Kaschierverfahren 201
 Keramik-Hohlstrahler 143
 Kippbewegung 217
 Kipp-Technik 218
 Klappverpackungen 21
 Klauen-Vakuumpumpe 463
 Klebekaschieren 200
 Kleben 281
 Kompakttechnik 400
 Kompensation 41
 – beim Heizen 151
 Konfigurierbare Gebläse 258
 Kontaktheizplatte 153
 Kontaktheizung 153
 Kontur eines Vorstreckstempels 375
 Konturenblenden 350
 Konvektionsheizung 155
 Korrosionsschutz 412
 Kühlen 6, 63, 255
 – mit Eiswasser 257
 Kühlleistung durch Luft 259
 Kühlvorrichtungen 255
 Kupfer-Beryllium-Legierung 346
 kurze Kühlzeit 464
 Kurzfaser 124

L

lackiert 330
 Längenausdehnungskoeffizient 41
 Langfaser 125
 Längsreihenregelung 172
 Leistungsabgabe von Strahlern 130

Leistungsabsenkung 162
 Leistungsstellung 151, 162
 Leitungsquerschnitte 481
 Lignin 117
 Lochstempel 319
 Lösen des Formteiles 266
 Loseile 379
 Luftdurchlässiges Plattenmaterial 346
 Luftkühlung 258
 Luftunterstützung 58
 – beim Heizen 387
 Luftverbrauch 459
 Luftzug 143

M

Markennamen 128
 Markierungen 23
 Maschinenfähigkeit 127
 Materialfaktor für Heizzeit 41
 Materialverdrängung beim Stanzen 312
 Mehrschicht 87, 119
 Mehrschicht-Halbzeuge 67, 120
 Mehrstellungsschaltung 162, 165
 Messerschnitt 283 f., 395
 Messerschnittwerkzeuge 287
 metallisiert 325
 Metallisierung 122
 Metall-Spritzbeschichtung 344
 Migration 123
 Mindestheizzeit 155
 mit Schutzfolie 235
 modifiziert 85

N

Nachbearbeitung 277
 Nachschwindung 47
 nicht abbaubar 118
 Nickelgalvanos 346
 Niederhalter 30, 405
 Niederhalterbetätigung 405
 Niederhalter-Druckstufen 222, 406
 Niederhalter-Steuerung 221

O

Oberflächenbehandlung 282
 Oberflächenrauheit 364
 Oberflächenstrukturen 326
 OPS 76
 Orientierung 55, 60, 66
 Orientierungsrichtung 61

P

PA 101
 Palette 471
 PAN 123
 PBS 116
 PC 100
 PE 80
 Permeabilität 121
 Permeation 120
 PET 102f.
 PET-A 102
 PET-C 102
 PET-G 102
 PETG 103
 PHA 114
 pH-Wert 413
 Pilotstrahler 143
 PLA 113
 PMMA 97f.
 Polyurethanharz 373
 POM 374
 Positiv- und Negativformung 7, 180, 347
 PP 82
 Prägen 179
 PR/SEC 445
 Prüfung des gleichmäßigen Heizens 141
 PS 73
 PS HI 74
 PSU 109
 PTFE 374
 PVC 80
 PVDC 86, 122

Q

Quarzgutstrahler 144
 Querreihen-Regelung 174

R

Ra 364
 Radian 367
 randlose Formteile 230
 Raster 63
 Rauheit 366
 Rauheiten durch Bearbeitung 366
 RDM-Formstation 217
 RDM-Werkzeug 398
 Recken 67
 Recycling 282
 Recyclingmaterial 120
 Reduzierung der Schreckmarken 19
 Reduzierung des Energieverbrauchs
 450 ff., 460
 Referenzkunststoff 41
 Reflektoren 138
 Reflexionsflächen 140
 Regelzone 161
 Reibverhalten 44
 Reproduzierbarkeit von Heizergebnissen
 147
 Rillen 391
 Rillkraft 392
 Rillkraftermittlung 393
 Rillliniengeometrie 391
 Rippen 474
 Rollenstanze 278
 Rückschrumpf 57
 Rz 364

S

Sammelbohrung 369
 SAN 79
 SBS 75
 Schädigung 43
 Schalenwerkzeug 396f.
 Schaltwerk 219

Scharnierherstellung 393
 Schaumfolie 87
 Scherschnitt 291, 398
 Schichtholz 373
 Schieber 379
 Schlagschere 317
 Schlitzdüsen 368
 Schlitze 368
 Schnappverschluss 389, 393
 Schneidengeometrien 285
 Schnittkräfte für Messerschnitt-
 werkzeuge 311
 Schnittspiel 402
 Schnittstempel 402
 Schreckmarken 13
 Schrumpfetikette 329
 Schweißen 280
 Schweißnaht 384
 SEC-Wert 444
 Seitenabstand im Stapel 270
 Seitenwandschräge 270, 349, 363
 Selbstklebeetiketten 329
 Siebdruck 330
 Siegelwall 405
 SiOx 122
 Skelettwerkzeug 241
 Sleeve 329
 Spannranddeformation 337
 Spannungen 42, 57
 – im Halbzeug 335
 spezifischer Energieverbrauch 444
 Stahlwerkzeuge 346
 Stanzen 283
 Stanzgegenlagen 285
 Stanzhub 402
 Stapelabstand 270
 Stapelbarkeit 269
 Stapelhinterschnitt 272f.
 Stapellänge 271
 Stapelweise 276
 Stillstandzeiten 466
 Stoßbereich 474
 Strahlerabstand 134
 Strahlergröße 136
 Strahlervergleich 144

Strahlungsheizungen 129
 Strahlungsleistung 131
 Streckverhältnis in seitlichen Negativ-
 Partien 470
 Streudruck 247, 325
 Strickgewebe 125
 syntaktische Schäume 373

T

Tabelle für den Thermoformer 68
 Teflon 374
 teilkristallin 37
 Temperaturregelung 151
 Temperaturabsenkung 162
 Temperaturdifferenz im Halbzeug 133
 Temperaturgefälle 40
 Temperaturprofil über die Halbzeugdicke
 148
 Temperaturregelung 161
 – von Keramikstrahlern 162
 Temperaturstabilisierung 152
 Thermoformen 1ff.
 Thermoformverfahren 179
 Tiefziehen 1
 Toleranzen 64
 TPO 87
 TPS 112
 Trimmless 336
 Trocken-Offset 330
 Twinsheetformung 193, 383

U

Überfahreffekt 142
 überlagerte Leistungsstellung 162
 überlagerte Prozent-Stellung 167
 Übersetzung V
 Umformdruck 8, 10
 Umformtemperaturbereich 43, 90
 Umformverhältnis 32, 63
 Ummantelung 329
 Universalablaufdiagramm 209
 Universalwerkzeug 354
 Unterbau 355

unterbrochene Schweißnaht 387
 Ursachen für Deformation 339
 UV-Beständigkeit 120

V

Verarbeitungsschwindigkeit 47, 60, 264,
 352
 Verbundhalbzeuge 119
 Verbund Karton-Kunststoff 328
 Veredlungsverfahren 67
 Verglasungen 242
 Verhindern von Falten 482
 verkreuztes Gewebe 125
 Verlagerung der Schweißebene 385
 Verpackungsscharnier 390
 Verschlussnoppen 394
 versetzte Stapelnoppen 275
 verstärkt 85
 Versteifen 281
 Verstellbarer Formenunterbau 361
 Verstreckung 63
 – des Druckbildes 349
 Verweilzeit 155 ff.
 viskoelastisch 62
 Vlies 120
 vollbedruckt 324
 vorbedruckt 325, 327
 Vorblasen 12
 Vorformen 5, 179
 Vorheizung für Rollenautomaten 462
 Vorsaugen 12
 – und Abrollen 185
 Vorstrecken 179
 Vorstreckstempel 408
 Vorstreckstempelwerkstoffe 409

W

Wanddickenberechnung 34
 Wanddickenverteilung 58
 Wärmedehnung 89
 Wärmeübertragung 129
 Warmumformen 1
 Wasserqualität 413
 Wassertransferdruck 331
 Wechselstapelung 276
 Wellen 43
 Werkstoffe für das Formsegment 342
 Werkstoffe für Vorstreckstempel 372
 Werkzeugaufbauten 206 f.
 Werkzeugboden 407
 Werkzeugentlüftung 368
 Werkzeugsatz 28
 Werkzeugtemperatur 261
 Windabweiser 244
 Wohnwagenfenster 243

Z

Zackenmesser 388
 Zahnketten 205
 zeitversetzter Heizungsstart 465
 zentrale Kühlluft 258
 Zentrierkante 274
 Zerrdruck 250, 326
 Zerrdruckermittlung 253
 Zuführung von zentraler Kühlluft 260
 Zweikammerverfahren 192