

Verarbeitungshinweis

Thermoformen, Vakuumformen, Tiefziehen,
Warmformen, Biegen

Inhalt

1	Einleitung	2
2	Werkstoffe	3
2.1	Amorphe Thermoplaste	3
2.2	Teilkristalline Thermoplaste	3
3	Werkstoffeigenschaften	5
3.1	Spannungsrisse	5
3.2	Thermische Eigenschaften	5
3.2.1	Spezifische Wärmekapazität	5
3.2.2	Wärmeleitfähigkeit	6
3.2.3	Temperaturleitfähigkeit	6
3.2.4	Feuchtigkeitsaufnahme	7
3.2.5	Reibung	7
3.2.6	Schrumpfung und Schwindung	7
4	Thermoformen	9
4.1	Positiv- und Negativformung	11
4.2	Werkzeuge	12
4.3	Vorwärmen	12
4.4	Aufheizen des Halbzeugs	13
4.4.1	Kontakterwärmung	13
4.4.2	Konvektionserwärmung	13
4.4.3	Strahlungserwärmung	14
4.5	Orientierung – Einfluss der Extrusionsrichtung	15
4.6	Berechnung der Wanddicke von Tiefziehteilen	16
5	Warmformen	18
6	Biegen	20
7	Beratung	21
8	Literatur	22

1 Einleitung

Für die Formgebung haben sich in der industriellen Praxis unterschiedliche Verfahren durchgesetzt, die ständig durch Praxiserfahrungen weiterentwickelt werden. Die Verfahren kann man in das Thermoformen, Warmformen und Biegen unterteilen. Das Tiefziehen, Vakuumformen und Druckluftformen sind spezielle Thermoformverfahren [1].

Thermoplaste eignen sich besonders als Grundwerkstoffe oder Halbzeuge für die unterschiedlichen Formgebungsverfahren, da sie durch Erwärmung in den gummielastischen Zustand überführt und dann leicht verformt werden können. Nach der Abkühlung in der Form behalten die Werkstücke die in der Wärme aufgeprägte Gestalt bei. Das Formteil weist in der Regel eine größere Oberfläche auf als das Halbzeug, so dass eine Reduzierung der Wanddicke einhergeht. Dies wird bereits bei der Wahl der Wanddicke des Halbzeugs berücksichtigt [2].

Um dem Formteil die endgültige Gestalt zu verleihen ist eine Nachbearbeitung der Kontur oder evtl. das Einbringen von Öffnungen durch mechanische Bearbeitungsmethoden notwendig. Dies geschieht heute hauptsächlich in CNC-gesteuerten Automaten, die über CAD erstellte Geometrien programmiert werden.

Das Thermoformen steht bei speziellen Anwendungen in Konkurrenz zum Spritzgießen oder Blasformen. Der Vorteil der Thermoformung besteht in der Verwendung preisgünstiger Werkzeuge und Maschinen sowie der Nutzung von unterschiedlichsten Halbzeugen, wie Schaum oder bedruckte Halbzeuge. Ein weiterer Vorteil des Thermoformens besteht in der Möglichkeit auch Mehrschichtwerkstoffe einzusetzen. Eine in der letzten Zeit verstärkt in den Markt drängende Methode stellt die Twin-Sheet-Technik dar, mit der sehr wirtschaftlich Hohlkörper hergestellt werden können.

Letztlich entscheidet der Preis, die Stückzahl, die Form und die Qualität die Formgebungsmethode.

Bei der Wahl des Verfahrens sind die Werkstoff- bzw. Halbzeugeigenschaften zu berücksichtigen. Jeder Werkstoff verhält sich hinsichtlich Erweichungstemperatur, Rückstellverhalten, Rekristallisation und thermischer Dehnung anders.

In dieser Produktinformation erhalten Sie einen Überblick über die Eigenschaften der thermoplastischen Halbzeuge und einige Hinweise zur Formgebung. Es werden auch einige maschinentechnische Aspekte erläutert.

2 Werkstoffe

In dieser Produktinformation werden ungefüllte und unverstärkte Thermoplaste behandelt. Auch Thermoplastblends bleiben unerwähnt, da diese Werkstoffe noch in Nischenanwendungen eingesetzt werden.

2.1 Amorphe Thermoplaste

Amorphe Werkstoffe, wie PVC-U oder PETG, zeichnen sich durch eine hohe optische Transparenz aus, wenn sie ohne Additive produziert werden.

Der praktische Einsatz erfolgt unterhalb der Glasübergangstemperatur T_G , da in diesem Bereich eine hohe Grundfestigkeit vorliegt, so dass eine mechanische Bearbeitung möglich ist und die Stabilität als Konstruktionswerkstoff genügend hoch ist.

Oberhalb der Glasübergangstemperatur T_G nehmen die mechanischen Eigenschaften sehr stark ab und das Material geht in den gummielastischen Bereich über. Dies wird in Bild 1 deutlich. Nach Einsetzen der Erwei-

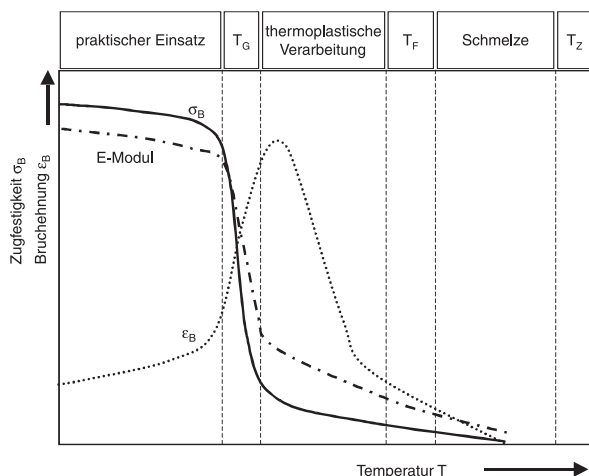


Bild 1:
Schematische Darstellung der mechanischen Eigenschaften von amorphen Thermoplasten als Funktion der Temperatur. (T_G = Glasübergangstemperatur, T_F = Schmelztemperatur, T_Z = Zersetzungstemperatur)

chung nehmen die Bruchfestigkeit σ_B und der E-Modul stark ab und die Bruchdehnung ϵ_B stark zu. Der gummielastische Bereich zeichnet sich durch eine leichte Verformbarkeit des Werkstoffs aus.

Bei weiterer Erwärmung folgt der plastische Bereich, die Schmelztemperatur T_F , in der das Material umgeformt, d.h. extrudiert, spritzgegossen oder gepresst, wird.

Eine weitere Temperaturerhöhung führt zur Zersetzung des Thermoplasten.

2.2 Teilkristalline Thermoplaste

Teilkristalline Werkstoffe, PE, PP, PVDF, E-CTFE und PFA sind in der Regel opak bis transluzent. Sie sind unterhalb des Glasübergangstemperatur T_G äußerst spröde und schlagempfindlich (Bild 2). Unterhalb von T_G werden teilkristalline Kunststoffe nur unter besonderen Bedingungen eingesetzt.

Zwischen T_G und dem Kristallitschmelzbereich T_K fallen Bruchspannung σ_B und E-Modul leicht ab, während die Dehnung ϵ_B zunimmt. In diesem Temperaturbereich werden die teilkristallinen Werkstoffe in der Praxis eingesetzt oder bearbeitet.

Oberhalb der Kristallitschmelztemperatur T_K nehmen die mechanischen Eigenschaften wie Bruchspannung σ_B und E-Modul stark ab und die Dehnung ϵ_B zu. In diesem Temperaturbereich werden diese Werkstoffe durch die Phasenumwandlung kristallin-amorph transparent und erreichen den gummielastischen Zustand, in dem sie leicht umgeformt werden können.

Erfolgt die Umformung unterhalb von T_K so verbleiben im Formteil kristalline Bereiche, die zwar umgeformt

werden, doch zu Restspannungen innerhalb der Formteilwand führen. Bei nochmaliger Erwärmung führt dies zu einer Verformung des Formteils [2].

Durch weitere Temperaturerhöhung wird der Werkstoff plastifiziert, er schmilzt, und kann somit urgeformt werden.

Weit oberhalb der Schmelztemperatur erfolgt die Zersetzung des Werkstoffs.

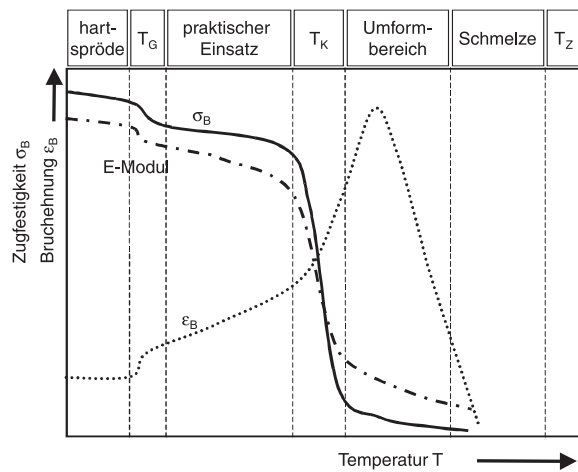


Bild 2:
Schematische Darstellung der mechanischen Eigenschaften von teilkristallinen Thermoplasten als Funktion der Temperatur. (T_G = Glasübergangstemperatur, T_K = Kristallitschmelztemperatur, T_Z = Zersetzungstemperatur)

3 Werkstoffeigenschaften

Für den Einsatz und die Verformung sind unterschiedliche Eigenschaften der Thermoplaste zu berücksichtigen. Die thermodynamischen Eigenschaften bestimmen die Verfahrensparameter und Werkzeugauslegungen, sowie die Eigenschaften des Formteils.

3.1 Spannungsrisse

Spannungsrisse in einem Thermoplasten entstehen bei Kontakt mit speziellen Chemikalien wie Lösungsmitteln, Ölen und oxidierenden Medien bei gleichzeitiger mechanischer Belastung. Die mechanische Belastung kann durch innere Spannungen auftreten, wenn ein Werkstoff beispielsweise zu kalt verformt wurde. Im praktischen Einsatz kann es sich aber auch um Spannungen durch äußere Belastungen handeln (Druck-, Zug-, Scherbelastung). Auch Schweißnähte enthalten in der Regel erhöhte innere Spannungen.

Der Spannungsrisskorrosion kann man nur begegnen, indem die Spannung reduziert (Tempern des Bauteils) oder indem das Medium gewechselt wird.

3.2 Thermische Eigenschaften

Die thermischen Eigenschaften des Thermoplasten bestimmen maßgeblich die Verarbeitbarkeit und die erreichbaren Zykluszeiten während der Verarbeitung. Die thermischen Kenngrößen sind zur Berechnung der Aufheiz- und Abkühlvorgänge von großer Wichtigkeit.

3.2.1 Spezifische Wärmekapazität

Die spezifische Wärmekapazität c_p ist eine thermodynamische Kenngröße, die die Wärmemenge darstellt, die zur Erwärmung eines Werkstoffs um 1 K benötigt wird. Die Wärmekapazität C_p kann aus der Änderung der Enthalpie H (Wärmeinhalt) mit der Temperatur T

bestimmt und aus Enthalpietabellen oder -graphiken (Bild 3) bestimmt werden:

$$C_p = \frac{\Delta H}{\Delta T}$$

Eine experimentelle Methode zur Ermittlung der temperaturabhängigen Wärmekapazität ist die Differential Scanning Calorimetrie (DSC). Dazu wird eine geringe Menge (5–30 mg) in einem Tiegel kontrolliert erwärmt und der dazu notwendige Wärmestrom in Relation zu einer Referenzprobe gemessen.

Die Wärmekapazität amorpher Thermoplaste liegt zwischen 1 und 1,5 kJ/(kg·K) und die teilkristallinen Thermoplaste liegt zwischen 1,5 und 2,7 kJ/(kg·K).

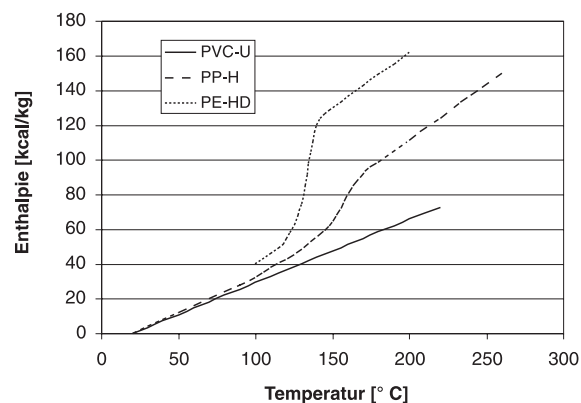


Bild 3: Graphische Darstellung der Enthalpie einiger Thermoplaste.

3.2.2 Wärmeleitfähigkeit

Unter der Wärmeleitfähigkeit λ ist der Energietransport im Werkstoff zu verstehen. Als Messgröße dient dazu die Wärmemenge die durch den Querschnitt von 1 m^2 bei dem Temperaturgefälle von 1 K in der Zeit von 1 Stunde geleitet wird.

Die Wärmeleitfähigkeit charakterisiert somit die Energiemenge, die pro Zeiteinheit durch einen Werkstoff transportiert werden kann.

Die Wärmeleitfähigkeit amorpher Thermoplaste liegt im Bereich von $0,1$ und $0,3 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ und die der teilkristallinen Thermoplaste liegt im Bereich $0,2$ und $0,6 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Sie ist zum Teil stark von der Temperatur abhängig und muss experimentell ermittelt werden. (Weitere Werte in [2]).

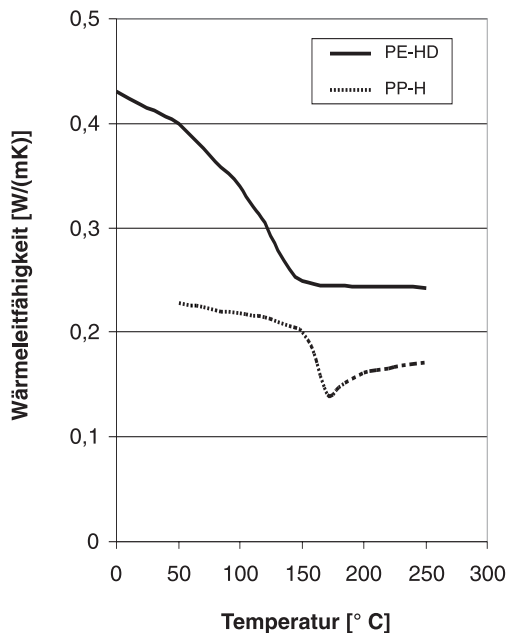


Bild 4: Wärmeleitfähigkeit einiger Thermoplaste als Funktion der Temperatur.

3.2.3 Temperaturleitfähigkeit

Als dritte wichtige Kenngröße zur Beurteilung der Verformbarkeit von Thermoplasten ist die Temperaturleitfähigkeit a zu nennen, die ein Maß für den zeitlichen Ablauf der Wärmeleitung darstellt. Sie ist abhängig von der Wärmeleitung λ der Dichte ρ und der spezifischen Wärmekapazität c_p :

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}$$

Für die meisten ungefüllten Kunststoffe liegt die Temperaturleitfähigkeit zwischen $0,05$ und $0,25 \text{ mm}^2/\text{s}$. Die Temperaturleitfähigkeit bestimmt die Durchwärmung einer thermoplastischen Platte durch das Aufprägen einer äußeren Temperatur durch Strahlung oder direkten Kontakt.

Bei direktem Kontakt ist die Wärmeeindringzahl b noch von Bedeutung:

$$b = \sqrt{\lambda \cdot c_p \cdot \rho}$$

Mit der Kenntnis von b kann die Kontakttemperatur T_c bei Berührung zweier Körper A und B berechnet werden:

$$T_c = \frac{b_A \cdot T_A + b_B \cdot T_B}{b_A + b_B}$$

Die Kontakttemperatur T_c bestimmt den Temperaturfluss zwischen Werkzeug und Halbzeug während des Verformungsprozesses. Mit Hilfe der Tabelle 1 können die notwendigen Koeffizienten in Abhängigkeit von der Temperatur berechnet werden.

Tabelle 1: Koeffizienten zur Berechnung der Wärmeeindringzahl

Werkstoff	Koeffizienten zur Berechnung der Wärmeleitfähigkeit b [3]:	
	$b = a_b T + b_b$	$[W \cdot s^{1/2} / m^2 \cdot K]$
	a_b	b_b
PE-HD	1,41	441,7
PP-H	0,846	366,8
PVC-U	0,649	257,8

3.2.4 Feuchtigkeitsaufnahme

Kunststoffe können in Abhängigkeit des Rohstoffs, der Modifizierungen, Verarbeitungshilfsmittel und Verstärkungsstoffe geringe Mengen Feuchtigkeit aus der Umgebungsluft oder durch feuchte Lagerung aufnehmen. In der Regel sind die Mengen jedoch so gering, dass dies keine Auswirkungen auf die Verformungseigenschaften der Halbzeuge hat.

Im Fall von PVC-U, PETG, elektrisch leitfähigen oder farbigen Thermoplasten können die Feuchtigkeitsmengen doch so hoch werden, dass sich während des Aufheizens des Halbzeugs Bläschen an der Oberfläche bilden. Die Ursache liegt im Fall der Verstärkungs- und Farbstoffe in den hygroskopischen Eigenschaften dieser Zuschlagstoffe.

Um die negativen Erscheinungen auszuschließen, sollten diese Kunststoffe in einem Umluftofen (mit Ablufteinrichtung) vorgetrocknet werden. Die Trockenbedingungen können Tabelle 2 entnommen werden. Während der Trocknung im Umluftofen ist darauf zu achten, dass die Platten senkrecht gestellt oder in Etagen angeordnet werden, um die Zirkulation der Luft allseitig zu gewährleisten.

Lagern die Halbzeuge vor Feuchtigkeit geschützt, ist ein Vortrocknen in der Regel nicht erforderlich.

Tabelle 2: Bedingungen zur Trocknung von Thermoplasten, wenn diese Feuchtigkeit absorbiert haben.

Werkstoff	Temperatur in °C	Zeitdauer in Stunden pro mm Wanddicke
PVC-U	55	1,5 – 2
PE-EL	125	1,5 – 2
PP-EL	155	1,5 – 2
PVDF-EL	165	1,5 – 2
PETG	65	1,5 – 2

3.2.5 Reibung

Die Reibung eines Werkstoffs ist abhängig von der Oberflächenmorphologie und den Stoffeigenschaften. Kunststoffe besitzen aufgrund der geringen Oberflächenspannung in der Regel niedrige Reibungskoeffizienten bei Raumtemperatur. Diese Eigenschaften ändern sich jedoch mit der Temperatur oder entsprechenden Oberflächenmodifizierungen, sowie beim Einsatz von Mehrschichtwerkstoffen.

Die Reibung kann auf den Umformprozess sowohl positiv wie auch negativ wirken. Bei einer hohen Reibung zwischen Werkzeug und Halbzeug wird die Verstreckung in dem Kontaktbereich eingeschränkt. Die Reibung kann durch folgende Parameter beeinflusst werden:

- Oberflächenrauigkeit des Werkzeugs
- Temperatur
- Kunststofftyp

3.2.6 Schrumpfung und Schwindung

Auch bei Kunststoffen erhöht sich das spezifische Volumen (Volumen pro kg) mit der Temperatur aufgrund der thermischen Dehnung in allen drei Dimensionen. Das Volumen der amorphen Thermoplaste vergrößert sich in der Regel quasi-linear mit der Temperatur. Kristalline Thermoplaste verhalten sich dagegen anisotrop, d.h. ihre Eigenschaften sind von der Richtung abhängig. Oberhalb der Kristallitschmelztemperatur T_K wird eine lineare Volumenzunahme gemessen. Zwischen Glasübergangstemperatur T_G und T_K ist die Volumenzunahme nichtlinear (siehe Bild 5).

In der Umformtechnik unterscheidet man zwischen Schrumpfung und Schwindung. Als Schrumpfung bezeichnet man die Dimensionsänderung eines Halbzeugs nach Warmlagerung bei einer definierten Temperatur:

$$\text{Schrumpfung in \%} = \frac{\text{Abmessung vor Test} - \text{Abmessung nach Test}}{\text{Abmessung vor Test}}$$

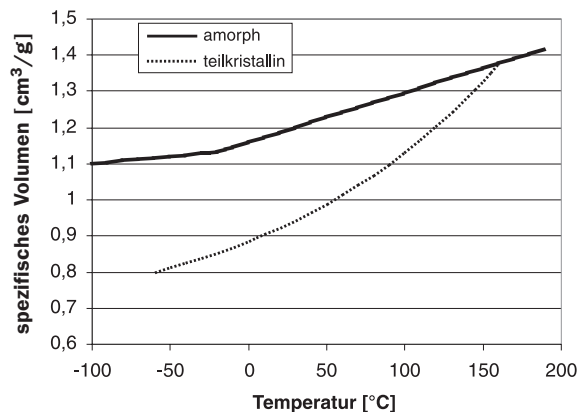


Bild 5:
Spezifisches Volumen von amorphem
und teilkristallinem PP [1].

Um den Schrumpf während des Umformens zu bestimmen, sollte ein Halbzeug definierter Abmessungen im Umluftofen auf einer Teflonfolie, die zusätzlich mit Talkum bestreut wurde, auf die Umformtemperatur erwärmt werden. Zur Bestimmung der Anisotropien können die Schrumpfwerte in sämtlichen Richtungen und besonders in und quer zur Extrusionsrichtung gemessen werden.

Probleme hinsichtlich Faltenbildung, Ausreißen aus dem Spannrahmen oder starke Formänderung während der Erwärmung mit Kontaktheizungen können mit dem

Schrumpf bei einer zu hoch gewählten Temperatur zusammenhängen.

Exakte Schwindungswerte können nur experimentell mittels Thermoformwerkzeugen ermittelt werden, die eine ähnliche Kontur besitzen wie die zu fertigenden Formteile. Richtwerte unterschiedlicher Thermoplaste können Tabelle 3 entnommen werden. Es ist aber zu berücksichtigen, dass der Schrumpf und die Schwindung auch chargenabhängig sein können.

Insbesondere bei der Nachbearbeitung der Formteile ist die Schwindung zu beachten, da das Formteil oftmals noch nicht völlig abgekühlt ist. Die Schwindung wird in der Regel von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Der Kunststofftyp (mit evtl. Chargenschwankungen)
- Abkühlgeschwindigkeit: hohe Kühlgeschwindigkeit bedingt geringeren Verarbeitungsschwund
- hohe Entformungstemperatur resultiert in einer höheren Schwindung
- hohe Verstreckung ergibt kleinere Schwindung
- Positivformen bedingen geringere Schwindung im Vergleich zu Negativformen
- die Extrusionsrichtung bedingt unterschiedliche Schwindung

Die Schwindung bezeichnet die Differenz zwischen Werkzeugmaß und Maß des abgekühlten Formteils. Weiterhin unterscheidet man die Verarbeitungsschwindung, Nachschwindung und Gesamtschwindung:

$$\text{Verarbeitungsschwindung in \%} = \frac{\text{Maß des Werkzeugs} - \text{Maß des Formteils}}{\text{Maß des Werkzeugs}}$$

Die Maße des Werkzeugs und die Maße des Formteils sollten nach 24 stündiger Abkühlung auf 23°C gemessen werden.

$$\text{Nachschwindung in \%} = 1 - \frac{\text{Maß des Formteils nach Lagerung (Tage - Wochen)}}{\text{Maß des Formteils nach Abkühlung (24 h)}}$$

$$\text{Gesamtschwindung} = \text{Verarbeitungsschwindung} + \text{Nachschwindung}$$

4 Thermoformen

Beim Thermoformen wird grundsätzlich zwischen dem Positiv- und dem Negativformen bei den einstufigen Verfahren unterschieden.

Das Thermoformen kann dabei in das Vorstrecken und das Ausformen unterschieden werden, wobei eine gleichmäßige Wanddickenverteilung das Ziel ist. Das Vorstrecken kann durch mechanisches Vorstrecken durch die Form oder einen Hilfstempel sowie durch Vorblasen oder Vorsaugen geschehen. Durch das Vorstrecken wird ein verstreckter Vorformling erzeugt, der beim Ausformen eine optimale Wanddickenverteilung besitzt.

Die Ausformung erfolgt mittels Unterdruck (Vakuumformung) oder Druckluft (Druckumformung). Die Unterstützung des Unterdrucks bei der Vakuumformung bewirkt, dass das Halbzeug mit Atmosphärendruck an die Form gepresst wird. Der maximale Anpressdruck beträgt jedoch $1 \text{ at} = 0,1 \text{ N/mm}^2$. Dabei wird die Tafel bzw. Folie in einen Spannrahmen, der sich über der Tiefziehform (= Werkzeug) befindet, fest eingespannt. Nach einer möglichst gleichmäßigen Erwärmung und Verstreckung wird die Luft zwischen Form und Material abgesaugt, die Tafel wird durch den äußeren Luftdruck an die Tiefziehform angedrückt. Nach der Abkühlung kann der Formling entnommen werden.

Der Vorteil des Vakuumformverfahrens besteht darin, dass dünnwandige und großflächige Formteile mit einfachen Werkzeugen herzustellen sind. Dabei sind die Werkzeugkosten ebenso wie die Investitions- und Unterhaltungskosten bedeutend geringer als beim Spritzgussverfahren. Mit diesem Verfahren ist sowohl die Fertigung in großen Serien möglich als auch die Rentabilität von kleinen Serien gewährleistet. Kleine Teile können durch Einsatz von Mehrfachformen sehr rationell gefertigt werden.

Soll die Kontur des Werkzeugs genauer abgebildet werden, so wird die Druckumformung eingesetzt, bei der das erwärmte Halbzeug mit hohem Druck ($7 \text{ bar} = 0,7 \text{ N/mm}^2$ bis $10 \text{ bar} = 1 \text{ N/mm}^2$) gegen die Form gedrückt wird.

Sämtliche SIMONA®-Thermoplaste sind in gewissem Umfang mit den heute gängigen Thermoformmethoden umformbar. Als Ausnahme gelten lediglich die hochmolekulare PE-Type PE-HMG 1000 und die coextrudierte PVC-Schaumplatte SIMONA® PVC-COPLAST-AS. Geeignet sind alle Maschinentypen. Für Platten ab 3 mm Dicke empfiehlt es sich jedoch, das Material beidseitig zu beheizen; die Anwärmzeit wird dadurch verkürzt und eine thermische Schädigung der Oberfläche vermieden. Weiterhin ist es empfehlenswert, durch Stützluft einem Durchhängen des Materials vorzubeugen.

Für die Fertigung größerer Serien haben sich Automaten mit einer automatischen Halbzeugzuführung bewährt. Je nach Verwendungszweck können Maschinen mit und ohne Oberstempel sowie mit und ohne Automatik für Zuschnittgrößen bis ca. $2 \times 6 \text{ m}$ eingesetzt werden.

Pro 1 mm Wanddicke werden für die teilkristallinen Thermoplaste PE, PP und PVDF ca. 45 sec. Heizzeit benötigt. Im Vergleich dazu liegt PVC bei ca. 25 sec.

Tabelle 3: Richtwerte zum Tiefziehen von SIMONA-Werkstoffen.

Es handelt sich hier um experimentell ermittelte Werte mit einer Tiefzieheinrichtung der Firma Illig Typ U100 mit Keramikstrahlern. Die Temperaturen der Oberheizung betragen 550/500/450 °C. Die Temperatur der Unterheizung betrug 400 °C.

Werkstoff	Name	Maximales Verstreckungs- verhältnis ^{1,6}	Schwindung in Extrusionsrichtung ²		Verarbeitungs- temperatur ³ in °C	Werkzeug- temperatur in °C
			in % Formung Positiv	Negativ		
PE-HD/PE 80	PE-HWU/PE-HWST	1 : 4	2-3	> 3	160-180	50-70
	PE-HWV ⁴	1 : 5				
	PE-EL	1 : 3,5				
PP	PP-DWU/PP-DWST/PPs	1 : 3	1,5-2,5	> 2,5	170-200	50-80
	PP-DW-EM	1 : 2,5				
PVC-U	PVC-CAW/PVC-LZ	1 : 4	0,5-1	> 1	160-180	< 50
	PVC-D/PVC-DS					
	PVC-HSV/PVC-MZ ⁴	1 : 5				
	PVC-EL	1 : 2				
	SIMOCEL-AS	1 : 1,5				
	PVC-GLAS/ PVC-GLAS-SX	1 : 4				
PETG	SIMOLUX	1 : 4	0,5-1	> 1	160-180	50-60
PVDF	PVDF	1 : 3	2-3	> 3	190-200	60
E-CTFE ⁵	E-CTFE	1 : 3	2-3	> 3	250-260	80-90
PVC-C	PVC-C	1 : 2,5	0,5-1	> 1	170-190	50-70

¹ Verhältnis von Fläche der Platte zu Fläche des Formteils

² In Querrichtung ca. die Hälfte des Wertes

³ Oberflächentemperatur, nicht Strahlertemperatur

⁴ Für extreme Verstreckungsverhältnisse, speziell für Negativformung

⁵ E-CTFE besitzt zwischen 170 und 240 °C eine sehr geringe Bruchdehnung und ist in diesem Temperaturbereich nicht zu verarbeiten.

⁶ Abhängig von dem Bedienungspersonal und der Anlage

4.1 Positiv- und Negativformung

Die Entscheidung einer Positiv- oder Negativformung hängt vom zu erzielenden Ergebnis des Formteils ab. Die Formgenauigkeit ergibt sich bei der Positivformung beispielsweise an der Innenseite, da das Halbzeug mit seiner Innenseite an dem Werkzeug anliegt. Weiterhin wird die Werkzeugoberfläche an der anliegenden Seite recht gut abgebildet.

Die Wanddickenverteilung unterscheidet sich ebenfalls deutlich. Dort wo sich beim Positivformen eine Dünnstelle ergibt, wird beim Negativformen eine Dickstelle erzeugt.

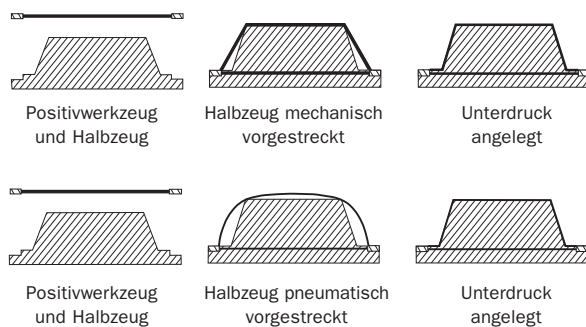


Bild 6: Schematische Darstellung des Positivformens.

Werkzeugstrukturierungen und Fertigungsdaten lassen sich sehr gut am Teil abbilden, am besten bei PP. Bei engen vorgegebenen Toleranzen muss man positiv formen, da beim Abkühlen das Teil auf das Werkzeug aufschumpft. Dadurch bleibt der Schwund in seiner Höhe begrenzt.

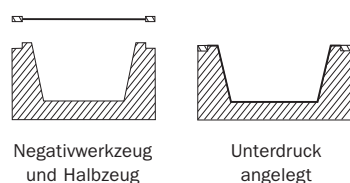


Bild 7a: Schematische Darstellung des Negativformens ohne mechanische oder pneumatische Vorstreckung.

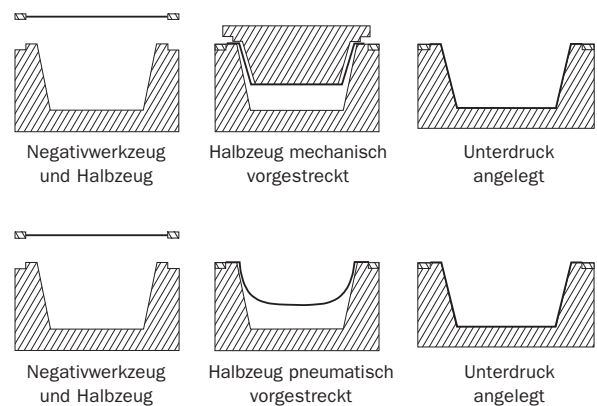


Bild 7b: Schematische Darstellung des Negativformens mit mechanischer oder pneumatischer Vorstreckung.

Wenn das Material völlig durchplastifiziert ist, sollte es in der Werkzeugform entsprechend hoch (sonst evtl. Faltenbildung) vorblasen bzw. bei Negativformen vorstrecken. Das Vorstrecken sollte etwa in der Höhe von $\frac{2}{3}$ der Höhe des Werkzeugs erfolgen. Anschließend wird das Werkzeug in die vorgestreckte Platte gefahren und der Unterdruck angelegt. An Stellen, an denen der Kunststoff am Werkzeug anliegt, ist jede weitere Verformung aufgrund der schnellen Abkühlung begrenzt.

Zum anschließenden Kühlen wird vorzugsweise Luft eingesetzt. Die Verwendung von Sprühwasser sollte erst dann erfolgen, wenn die Oberfläche genügend abgekühlt ist, damit keine Spannungen eingefroren werden. Durch diese Verarbeitungsweise ergeben sich gleichmäßigere Wanddicken und innere Spannungen werden reduziert.

Für die wirtschaftliche Fertigung von qualitativ einwandfreien Polyethylen-, PVDF- und Polypropylen-Tiefziehteilen ist ein vollständiges Auskühlen – nach Entformen der noch warmen Teile – in separaten Rahmen zur Vermeidung von Verzug unbedingt anzuraten.

Empfehlenswert ist die Auskühlung in Rahmen, die der Geometrie des Werkzeugs entsprechen. Hier können oftmals alte Werkzeuge oder Formen aus Holz verwendet werden.

Hohe Verformungstemperaturen, langsame Abkühlgeschwindigkeiten und möglichst niedrige Entformungstemperaturen sowie ein dem Tiefziehen direkt folgender Randbeschnitt helfen, den Verzug zu verringern.

4.2 Werkzeuge

Als Werkstoffe für den Werkzeugbau werden hauptsächlich Holz, Aluminium, Gießharzformstoffe sowie Schichtpressstoffe verwendet. Die Wahl eines Werkstoffs für den Formenbau wird bestimmt durch die

- geforderte Qualität der zu fertigenden Tiefziehteile (z. B. Oberflächenqualität)
- Stückzahl der Formungen
- günstige Verarbeitbarkeit
- Wärmeleitfähigkeit
- Verschleißfestigkeit
- Kosten.

Bei der Herstellung der Werkzeuge müssen die Schwundmaße der Thermoplaste und die Extrusionsrichtung der Platten berücksichtigt werden.

Gleichmäßige Serien und kurze wirtschaftliche Taktzeiten erreicht man mit temperierten Werkzeugen.

Sandgestrahlte Oberflächen haben den Vorteil, dass die Luft beim Vakuumtiefziehen restlos abgesaugt werden kann und keine Luftnester entstehen können. Die Vakuumborungen sollten nicht größer als 1 mm sein, für Polyolefine am besten unter 0,8 mm, da sie sonst von dem Material im plastischen Zustand zu stark abgebildet werden können. Es empfiehlt sich,

die Formen mit einem Trennmittel (Talkum, Teflonspray, Wachs, Seife) zu überziehen. Beim Positivverfahren wird man wegen der möglichen Vorstreckung der erwärmten Platte in der Regel etwas gleichmäßigere Wanddicken erzielen können.

Die Kantenradien können bei Polypropylen und PET-G relativ scharf sein. Die minimalen Radien bei der angegebenen Verformungstemperatur entsprechen etwa der Plattendicke. Bei PE-HD, PVC und PVDF empfehlen wir größere Kantenradien (etwa 2–3 mal Plattendicke).

Die Anwendung von Positivformen erfordert bei teilkristallinen Werkstoffen (PE, PP, PVDF, E-CTFE) eine Konizität von 5 bis 10°, bei amorphen Thermoplasten (PVC, PET-G) von ca. 5°. Bei Negativformen ist dies nicht notwendig, da sich beim Abkühlen das Tiefzieheteil von der Form trennt.

4.3 Vorwärmen

Um die Maschinenbelegung abzukürzen, empfehlen wir, die Platten in einem Umluftofen bis knapp unter den Erweichungsbereich (PE-HD 110 °C, PP 125 °C, PVC 50–55 °C, PVC-C 70–80 °C, PET-G 60–70 °C, PVDF 140 °C, E-CTFE 140 °C) vorzuwärmen. Beim Aufheizen sollte man mit reduzierter Heizleistung arbeiten. Dabei wird die Plattenoberfläche weitestgehend geschont. Diese Arbeitsweise zahlt sich in längerer Lebensdauer der Teile aus.

Ein bis in den Rand gehendes Plastifizieren ist unbedingt erforderlich, um starken Verzug der Tiefziehteile zu vermeiden. Wir empfehlen dringend, die Tiefziehmaschine nach allen Seiten gegen Zugluft abzuschirmen.

4.4 Aufheizen des Halbzeugs

Die Erwärmung des Halbzeugs ist einer der wichtigsten Verfahrensschritte beim Thermoformen. Das Halbzeug soll zum Thermoformen kostengünstig, d.h. mit wenig Energie in kurzer Zeit auf die erforderliche Umformtemperatur aufgeheizt werden. Generell sollte darauf geachtet werden, dass eine gleichmäßige Erwärmung der Halbzeugoberfläche erfolgt. Nur in speziellen Fällen kann es sein, dass eine Temperaturungleichheit Vorteile beim Thermoformen hat.

Beim Erwärmen ist das Verarbeitungsfenster bestehend aus unterer und oberer Verformungstemperatur zu berücksichtigen. Sie sind werkstoffabhängig und können Tabelle 3 entnommen werden. Die Erwärmung muss so gesteuert werden, dass sich die Temperatur des Halbzeugs innerhalb dieses Verarbeitungsfensters befindet. Ein Temperaturgradient innerhalb der Wanddicke ist in der Praxis nicht zu vermeiden. Es muss jedoch sorgfältig darauf geachtet werden, dass das Halbzeuginnere die untere Temperaturgrenze überschritten hat, um Spannungen im Formteil zu vermeiden.

Bei einer sehr hohen Strahlertemperatur wird beispielsweise die Oberfläche des Halbzeugs zu schnell und hoch erwärmt, so dass bereits eine Zersetzung oder sonstige Eigenschaftsveränderungen der Oberfläche eintritt. Das Halbzeuginnere kann aufgrund der geringen Wärmeleitung der Oberflächentemperatur nicht folgen und besitzt für die Verformung eine zu geringe Temperatur. Folge ist das Einfrieren von Spannungen und durch die Überbeanspruchung der Oberfläche eine Beeinträchtigung der Langzeitstabilität des Formteils.

Zu welchem Zeitpunkt die optimale Temperaturverteilung im Halbzeug vorliegt, hängt in erster Linie von den thermodynamischen Eigenschaften des verwendeten Halbzeugs und der Erwärmungsmethode ab.

Eine exakte Berechnung der Heizparameter ist in jedem Fall sehr kompliziert und aufwändig, da sämtliche thermodynamischen Eigenschaften von Halbzeug, Werkzeug und Heizeinrichtung ermittelt werden müssen.

Praktikabler ist es, die Parameter mit dem jeweiligen Halbzeug und Werkzeug experimentell zu ermitteln. Hilfreich ist es, mit einem kontaktlosen Temperaturmessgerät (IR-Thermometer) oder Temperaturmessstreifen die Oberflächentemperaturverteilung zu ermitteln. Mit diesen Hilfsmitteln kann auch die Temperaturverteilung der Heizstrahler bestimmt werden.

4.4.1 Kontakterwärmung

Bei der Kontakterwärmung wird die Halbzeugplatte auf eine beheizte Platte mit Trennfolie (Teflonfolie) und Gegenlage zur Verbesserung des Kontakts oder zwischen zwei beheizte Platten mit jeweiliger Trennfolie gelegt und so lange in dieser Position belassen, bis das Halbzeug die Kontakttemperatur der Heizplatten erreicht hat. Die Erwärmung erfolgt durch reine Wärmeleitung in der Platte. In der Praxis sollte auf eine gleichmäßige Temperaturverteilung der Heizplatten geachtet werden, um Temperaturspitzen zu vermeiden, die das Halbzeug übermäßig beanspruchen.

4.4.2 Konvektionserwärmung

Unter der Konvektionserwärmung versteht man die Erwärmung der Halbzeuge im Umluftofen, der auf die Umformtemperatur aufgeheizt ist. Diese Methode wird z.B. bei dicken PETG-Platten angewandt, die anschließend streckgeformt werden.

4.4.3 Strahlungserwärmung

Die Strahlungserwärmung ist eine Wechselwirkung zwischen einer elektromagnetischen Strahlungsquelle und einer Oberfläche, die diese Strahlung in Form von Wärme absorbiert. Die Strahlung wird durch ihre Wellenlänge charakterisiert. Kunststoffe absorbieren Strahlung vorwiegend im Infraroten (IR-Bereich), im Wellenlängenbereich von 0,8 bis 10 μm .

Die Absorption von Strahlung hängt von der Dicke, der Farbe des Kunststoffs und der Wellenlänge der Strahlungsquelle ab. Wird bereits in der Oberfläche nahezu die gesamte Strahlungsenergie absorbiert, so findet in dem Wellenlängenbereich keine direkte Erwärmung des Platteninnern statt. Liegt die Wellenlänge zwischen 1 und 1,4 μm so beträgt die Eindringtiefe der Strahlung mehrere mm. Wellenlängen oberhalb 2,5 μm erwärmen in erster Linie die Oberfläche, so dass die Erwärmung einer dickeren Platte aufgrund der schlechten Wärmeleitung unter Umständen sehr lange dauern kann.

In der Praxis existiert kein Strahler der monomodal, d.h. nur mit einer Wellenlänge, strahlt. Die handelsüblichen Strahlerquellen emittieren im gesamten IR-Bereich und besitzen je nach Typ ihr Strahlungsmaximum bei unterschiedlichen Wellenlängen (Bild 8).

Es ist gut zu erkennen, dass der Keramikstrahler ein sehr breites Wellenlängenspektrum besitzt und somit auch den Bereich abdeckt, in dem die meisten Kunststoffe ein hohes Absorptionsvermögen besitzen.

Hellstrahler besitzen dagegen ein sehr ausgeprägtes Strahlungsmaximum, so dass die Hauptenergie zwischen 0,5 und 2 μm emittiert wird. Das ist gerade der Bereich, in dem die Eindringtiefe sehr hoch ist, und somit die Absorption ein Minimum besitzt. Damit wird erreicht, dass die Aufheizung nicht allein durch

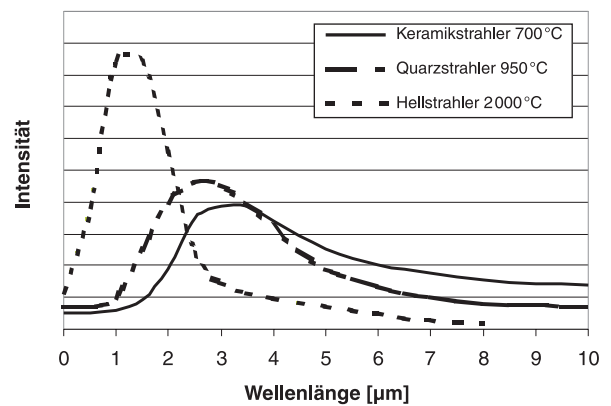


Bild 8:
Strahlungscharakteristik unterschiedlicher handelsüblicher IR-Strahler.

Wärmeleitung von der Oberfläche ins Innere geschieht sondern durch die eindringende Strahlung die Platte im Innern direkt erwärmt wird.

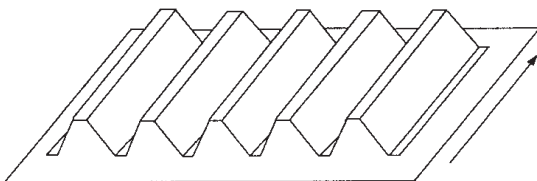
Mit zunehmender Strahlungstemperatur verschiebt sich das Strahlungsmaximum zu kürzeren Wellenlängen. Die in ein Halbzeug einzubringende Energie ist ebenfalls von der Strahlertemperatur abhängig, die die Taktzeiten erheblich verkürzen kann.

Neuere Strahler mit dem Strahlungsmaximum bei 1 μm (Halogenstrahler) sollen eine noch schnellere Aufheizphase gewährleisten [4]. Es gibt hier jedoch physikalische Grenzen der Wärmeübertragung in Form der Absorptionscharakteristik des Kunststoffs. Hellstrahler sind daher nicht in jedem Fall einsatzfähig, da sie die Oberfläche bereits zu stark erwärmen, und das Platteninnere der Temperatur nicht folgen kann. Als Folge einer zu starken Erwärmung kann die Halbzeugoberfläche nachhaltig geschädigt werden. Die Schädigung beeinflusst die Lebensdauer und die Farbkonstanz in negativer Weise insbesondere bei Bewitterung.

4.5 Orientierung – Einfluss der Extrusionsrichtung

Der Schrumpftest ist geeignet, die Orientierung bzw. die Verstreckung der Makromoleküle in einem Halbzeug zu bestimmen. Hohe Orientierungen, wie sie in der Regel in Extrusionsrichtung vorliegen, beeinflussen die Faltenbildung ganz erheblich. In Extrusionsrichtung der Platten ist die Schwindung im allgemeinen wesentlich höher als in Querrichtung. Bei Mehrfachwerkzeugen mit Segmenten im gleichen Abstand oder bei Formen, die Segmente enthalten, die länger als breit sind und sich mehrfach wiederholen (Bild 9), sollte die Extrusionsrichtung parallel zu der Länge der Segmente angeordnet sein, um eine Faltenbildung zu vermeiden. Dies wird um so wichtiger, wenn die Richtung quer zur Extrusion einen negativen Schrumpf besitzt.

Als Faustregel kann dienen: Längsrichtung der Platte = Längsorientierung des Tiefziehteiles. Für spezielle Tiefziehenanwendungen empfehlen wir den Einsatz von PVC-T oder PVC-TF.



*Bild 9:
Bei Formteilen mit ausgeprägter Orientierung sollte die Extrusionsrichtung des Halbzeugs in Richtung der Längsorientierung der Einzelsegmente ausgerichtet sein.*

4.6 Berechnung der Wanddicke von Tiefziehteilen

Das Tiefziehverhältnis wird aufgefasst als Quotient aus Oberfläche der Grundplatte (O_1) zu Oberfläche des verstreckten Teiles (O_2).

Unter der Voraussetzung möglichst gleichmäßiger Wanddickenverteilung werden nachfolgend zwei Rechenbeispiele gegeben:

Rundbehälter

Vorgegeben:

Tiefziehrahmen mit Maske

$$D_1 = 48 \text{ cm}$$

Zylinder

$$D_2 = 40 \text{ cm, } h = 33 \text{ cm}$$

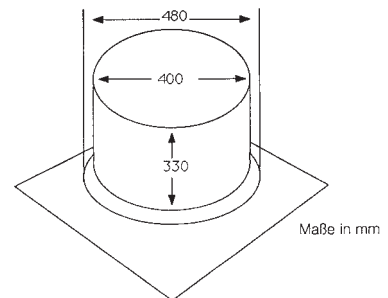
Gewünschte Wanddicke

$$s_1 = 3 \text{ mm}$$

Gesucht:

Ausgangswanddicke

$$s_2 = x \text{ mm}$$



Lösung:

$$O_1 \text{ (Oberfläche der Grundplatte)} = r^2 \cdot \pi = 24 \cdot 24 \cdot \pi = 1.809 \text{ cm}^2$$

$$\text{Mantel } M = D_2 \cdot \pi \cdot h = 40 \cdot \pi \cdot 33 = 4.147 \text{ cm}^2$$

$$O_2 \text{ (Oberfläche des verstreckten Teils)} = O_1 + \text{Mantel} = 5.956 \text{ cm}^2$$

$$\text{Verstreckungsverhältnis } s_1 : s_2 \approx O_1 : O_2 \approx 1 : 3,3$$

Fazit:

Um 3 mm Wanddicke am Formteil zu erhalten, müssen mindestens 10 mm dicke Platten eingesetzt werden.

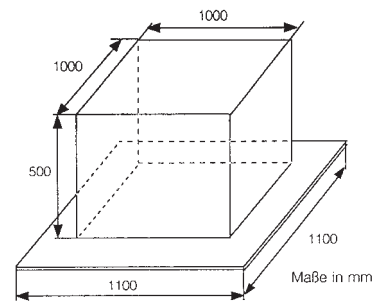
Viereckbehälter

Vorgegeben:

Tiefziehrahmen mit Maske = $1,1 \cdot 1,1 \text{ m}^2$
Viereckbehälter = $1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \text{ m}^3$
Ausgangswanddicke $s_2 = 5 \text{ mm}$

Gesucht:

Wanddicke des fertigen Teils $s_1 = x \text{ mm}$



Lösung:

Oberfläche der Grundplatte $O_1 = 1,1 \cdot 1,1 \text{ m}^2 = 1,21 \text{ m}^2$
Mantelfläche $M = 4 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \text{ m}^2 = 2,00 \text{ m}^2$
Oberfläche des verstreckten Teils $O_2 = O_1 + M = 3,21 \text{ m}^2$

Verstreckungsverhältnis $s_1 : s_2 \approx O_1 : O_2 \approx 1 : 2,5$

Fazit:

Die Wanddicke am Tiefziehteil wird nicht mehr als ca. max. 2 mm betragen (besser mit 1,5 mm rechnen).

5 Warmformen

Im Gegensatz zum Thermoformen, bei dem der Werkstoff eingespannt und ein- oder doppelseitig bei hoher Strahlertemperatur erwärmt wird, findet die Erwärmung für das Warmformen wesentlich schonender im Umluftofen statt.

Auch beim Warmformen wird das thermoplastische Halbzeug bis in den gummielastischen Bereich erwärmt, um die Umformkräfte und die Restspannungen im Bauteil nach der Abkühlung gering zu halten (Kapitel 2).

Zur Formgebung wird das zugeschnittene und erwärmte Halbzeug um die Form gelegt und durch Unterdruck oder mechanisch auf oder in der Form gehalten bis es so weit abgekühlt ist, dass es eine ausreichende Steifigkeit besitzt.

Um die Maßhaltigkeit der Formteile zu gewährleisten, sollten Voruntersuchungen direkt mit dem Serienwerkzeug oder mit einem in der Form vergleichbaren Werkzeug durchgeführt werden. Weiterhin sollte die Umformtemperatur experimentell bestimmt werden, da die Charakteristik der mechanischen Eigenschaften mit der Temperatur sehr unterschiedlich ausfallen kann. Deutlich wird dies am Beispiel von PVC-U (Bild 10). Die Reißdehnung besitzt bei 135 °C ein Minimum, so dass die Verformung außerhalb dieses Bereichs günstiger ist.

Die SIMONA AG bietet speziell für das Warmformen Halbzeuge wie PE-HWV an, die durch die besonderen Produktionsbedingungen Schrumpfwerte aufweisen, die der Warmformung entgegenkommen.

Das benötigte Plattenformat sollte unter Berücksichtigung der Schrumpfwerte zugeschnitten werden. Eine zusätzliche geringe Längenzugabe ist empfehlenswert, da in jedem Falle nachgearbeitet werden muss.

Die Tafelabschnitte werden am besten in einem gut regelbaren Umluftofen erwärmt. Die Thermoplasttafeln sollten waagrecht auf Etagenböden eingelegt werden, um die allseitige Erwärmung zu gewährleisten.

Als Anhaltswerte für die Temperatur der zu formenden Tafeln gelten:

- PE-HD 125–150 °C
- PP-H 160–170 °C
- PVC-U 110–140 °C
- PETG 140–170 °C
- PVDF 175–200 °C
- E-CTFE 160–170 °C

Höhere Temperaturen, um die Taktrate zu erhöhen, sind bei Beobachtung der Oberfläche und Messung der Oberflächentemperatur möglich.

Die Erwärmungsdauer hängt von der Temperatur im Umluftofen, dem Bewegungsgrad der umgebenden Warmluft, der Wanddicke der anzuwärmenden Platte und nicht zuletzt von der Kunststoffsorte ab. Als Richtwert für den Werkstattgebrauch haben sich bewährt:

Polyolefine und PVDF	Erwärmungszeit in Minuten: 6 mal Tafeldicke (mm)
PVC	Erwärmungszeit in Minuten: 3 mal Tafeldicke (mm)
PETG	Erwärmungszeit in Minuten: 3 mal Tafeldicke (mm)

Es ist zu beachten, dass zum Warmformen die Tafeln an allen Stellen gleichmäßig durchgewärmt sind (Sichtprobe). Hierdurch wird die Gefahr des Rückstellens nach dem Formen beim Abkühlen vermindert.

Die Auswahl des Formwerkstoffes richtet sich nach der gewünschten Lebensdauer und den Beanspruchungen,

also der Anzahl der vorgesehenen Formungen sowie der Oberflächenqualität des fertigen Teiles. Das Formwerkzeug kann aus Gips, Gießharz, Holz, Kunststoff oder aus Metall hergestellt werden. Bei einer Gipsform sollte jedoch auf eine möglichst geringe Restfeuchte geachtet werden, da ansonsten ein Abschrecken auf dem Werkzeug erfolgt.

Im allgemeinen arbeitet man mit zwei Werkzeughälften (Matrize und Patrize). Gelegentlich wird eine Werkzeughälfte durch ein Tuch ersetzt, der erwärmte Zuschnitt damit über einen Kern gewickelt und bis zum Erkalten festgehalten.

6 Biegen

Die linienförmige Biegezone einer Tafel kann auf verschiedene Arten ein- oder doppel-seitig erwärmt werden:

1. berührungslos

- mit Strahlern (Infrarot oder Quarzstrahler)
- mit Glühdrähten oder Heizstäben
- mit einem Warmluftgebläse

2. durch direkten Kontakt

- von flächigen Heizelementen

Nach einer ausreichenden Erwärmung wird die Kunststoffplatte im vorgesehenen Winkel gebogen und arretiert, bis das Material wieder fest geworden ist. Anblasen mit Druckluft beschleunigt die Abkühlung.

Der Mindestbiegeradius kann mit der doppelten Wanddicke der Platte angenommen werden.

7 Beratung

Unsere Mitarbeiter der Anwendungstechnik besitzen eine langjährige Erfahrung im Einsatz und in der Verarbeitung unser thermoplastischen Halbzeuge.

Wir beraten Sie gerne.

e-mail: ata@simona.de

8 Literatur

- [1] James L. Throne, Joachim Beine: Thermoformen, Hanser Verlag München Wien 1999
- [2] Adolf Illig: Thermoformen in der Praxis, Hanser Verlag München Wien 1997
- [3] Georg Menges: Werkstoffkunde Kunststoffe, Hanser Verlag München Wien 1990
- [4] W. Daum: Halogenstrahler verbessern das Warmformen. Kunststoffe 84 (1994), Bd. 10, S. 1433 – 1436

SIMONA weltweit

SIMONA AG

Teichweg 16
D-55606 Kirn
Phone +49 (0) 67 52 14-0
Fax +49 (0) 67 52 14-211
mail@simona.de
www.simona.de

Werk I/II

Teichweg 16
D-55606 Kirn
Phone +49 (0) 67 52 14-0
Fax +49 (0) 67 52 14-211

Verkauf Nord/Ost

Phone +49 (0) 67 52 14-965
Fax +49 (0) 67 52 14-934
nord-ost@simona.de

Verkauf West

Phone +49 (0) 67 52 14-935
Fax +49 (0) 67 52 14-932
west@simona.de

Verkauf Süd

Phone +49 (0) 67 52 14-492
Fax +49 (0) 67 52 14-313
sued@simona.de

Werk III

Gewerbestraße 1-2
D-77975 Ringsheim
Phone +49 (0) 78 22 436-0
Fax +49 (0) 78 22 436-124

Auslieferungslager

AL Nord
Emmy-Noether-Straße 1
D-31157 Sarstedt

AL West

Otto-Hahn-Straße 14
D-40721 Hilden

AL Ost

Igeparing 11
D-06188 Queis

AL Südwest

Lochackerstraße 2-4
D-76456 Kuppenheim

AL Süd

Liebigstraße 8
D-85301 Schweitenkirchen

SIMONA S.A. Paris

Z.I. 1, rue du Plant Loger
F-95335 Domont Cedex
Phone +33 (0) 1 39 35 49 49
Fax +33 (0) 1 39 91 05 58
domont@simona-fr.com

SIMONA S.A. Lyon

Z.I. du Chanay
2, rue Marius Berliet
F-69720 Saint-Bonnet-de-Mure
Phone +33 (0) 4 78 40 70 71
Fax +33 (0) 4 78 40 83 21
lyon@simona-fr.com

SIMONA S.A. Angers

Z.I. 20, Bld. de l'Industrie
F-49000 Ecoouflant
Phone +33 (0) 2 41 37 07 37
Fax +33 (0) 2 41 60 80 12
angers@simona-fr.com

SIMONA S.A. Mulhouse

15, Avenue Valparc
Bâtiment D2
F-68440 Habsheim
Phone +33 (0) 3 89 64 44 66
Fax +33 (0) 3 89 44 64 42
mulhouse@simona-fr.com

SIMONA UK LIMITED

Telford Drive
Brookmead Industrial Park
GB-Stafford ST16 3ST
Phone +44 (0) 1785 22 24 44
Fax +44 (0) 1785 22 20 80
mail@simona-uk.com

SIMONA AG SCHWEIZ

Industriezone
Bäumlimattstrasse
CH-4313 Möhlin
Phone +41 (0) 61 8 55 90 70
Fax +41 (0) 61 8 55 90 75
mail@simona-ag.ch

SIMONA S.r.l. ITALIA

Via Padana
Superiore 19/B
I-20090 Vimodrone (MI)
Phone +39 02 25 08 51
Fax +39 02 25 08 520
mail@simona.it

SIMONA IBERICA

SEMIELABORADOS S.L.
Doctor Josep Castells, 26-30
Polígono Industrial Fonollar
E-08830 Sant Boi de Llobregat
Phone +34 93 635 41 03
Fax +34 93 630 88 90
mail@simona-es.com

SIMONA-PLASTICS CZ, s.r.o.

Zděbradská ul. 70
CZ-25101 Říčany-Jažlovice
Phone +420 323 63 78 3-7/-8/-9
Fax +420 323 63 78 48
mail@simona-plastics.cz
www.simona-plastics.cz

SIMONA POLSKA Sp. z o.o.

ul. H. Kamieńskiego 201-219
PL-51-126 Wroc.aw
Phone +48 (0) 71 3 52 80 20
Fax +48 (0) 71 3 52 81 40
mail@simona.pl
www.simona.pl

SIMONA FAR EAST LIMITED

Room 501, 5/F
CCT Telecom Building
11 Wo Shing Street
Fo Tan
Hongkong
Phone +852 29 47 01 93
Fax +852 29 47 01 98
sales@simona.com.hk

SIMONA AMERICA Inc.

PO Box 158
755 Oakhill Road
Mountaintop, PA 18707
USA
Phone +1 570 474 5106
Fax +1 570 474 6523
mail@simona-america.com
www.simona-america.com