

VAKUUMTIEFZIEHPROZESS UND VERWENDUNG

Gebiet der Erfindung

- 5 Die Erfindung beschreibt ein essentielles Werkzeug eines Prozesses, in dem aus PMMA Halbzeug eine optisch einwandfreie Scheibe hergestellt wird. Insbesondere betrifft die vorliegende Erfindung dabei einen neuartigen Vakuumtiefziehprozess, mit dem aus PMMA oder PC, mit wirtschaftlich interessanten Taktzeiten transparente Kunststoffformteile mit besonders guter optischer Qualität hergestellt werden können. Dabei sind die Formteile bei
10 der Entnahme formstabil und verzerrungsfrei. Weiterhin zeigen die transparenten Formteile keine Oberflächedefekte wie zum Beispiel Pickel. Weiterhin werden keine Zusatzstoffe wie Fett oder Stoff benötigt, die bei einem Verfahren nach Stand der Technik auf die Form aufgebracht werden müssten.

15 Stand der Technik

- Leichtbau gilt unter den Automobilherstellern und Zulieferern als die Schlüsseltechnologie, um den Verbrauch fossiler Brennstoffe zu verringern, oder um die Reichweite und damit die Akzeptanz von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen zu vergrößern. Dabei gewinnt auch die Substitution von Glas durch Kunststoffe immer mehr an Bedeutung. Hier sind
20 Gewichtersparnisse von 40-50% möglich. Neben Polycarbonat gibt es auch Freigaben für Scheiben aus Polymethylmethacrylaten. Neben der Gewichtsreduktion sind durch Scheiben aus Kunststoffen auch größere Designfreiheiten möglich. Problematisch bei der Erstellung einer Scheibe im Tiefziehprozess war bisher, dass sich die Scheiben nicht pickelfrei tiefziehen ließen. Bei diesen „Pickeln“ handelt es sich um zumeist kreisrunde Störstellen auf
25 der Oberfläche der Scheibe nach Entnahme aus dem Tiefziehwerkzeug.

- Für die Herstellung von transparenten Formteilen aus Polycarbonat (PC) oder Polymethylmethacrylat (PMMA), wie sie zum Beispiel als Glasscheiben im Automobilbau verwendet werden können, gibt es bereits einige etablierte Prozesse. Diese sind jedoch in der Regel für PC optimiert und weisen bei der Verarbeitung von PMMA, insbesondere in
30 größeren Stückzahlen, große Nachteile auf.

2

Große Stückzahlen von PC-Formteilen können zum Beispiel mittels Spritzprägeprozessen hergestellt werden. Mit einem solchen Spritzprägeprozess können zum Beispiel transparente Fahrzeugdächer von einer Fläche von ca. $1,5 \text{ m}^2$ in einem 4 bis 5 Minutentakt hergestellt werden. Dabei ist der Ausschuss jedoch bei PC relativ hoch. Die Verarbeitung von PMMA führt zu starken Trübungen im Produkt und ist somit nicht möglich. Da zusätzlich das Invest in eine entsprechende Anlage relativ hoch ist, lohnen sich nur Jahresstückzahlen ab mindestens 10 000 Stück/Jahr.

Kleine Stückzahlen dagegen, sowohl aus PC als auch aus PMMA, können mittels Drapeforming bzw. Überlegverformung realisiert werden. Dabei wird eine Form mit einem Stoff überzogen und anschließend ein Kunststoffzuschnitt, z.B. aus PMMA, aufgelegt. Nach einem Erhitzen in einem Ofen in einem Temperaturbereich von 115° bis 140°C erhitzt, bildet der Zuschnitt die Form des Werkzeuges ab und kann - inklusive Kühlzeit - nach ca. 4h Stunden entnommen werden. Limitierend ist die Größe des Ofens und damit auch die Wärmeverteilung innerhalb des Ofens.

Dieser Prozess ist insgesamt sehr schonend und erzielt hervorragende optische Qualitäten. Dabei eignet sich der Prozess aufgrund des hohen Zeitaufwands jedoch nur für Stückzahlen bis maximal 1000 Stück/Jahr.

Eine Alternative Methode zum Herstellen von Kunststoffformteilen stellt der Vakuumtiefziehprozess dar. Vorteile dieses Prozesses sind mittlere bis kurze Taktzeiten und ein geringer Produktausschuss. Bis dato werden mit diesen Prozess z.B. Leuchttafeln für die Werbeindustrie aus PMMA oder Kühlschranksverkleidungen aus Polystyrol (PS) gefertigt. Die erzielte optische Qualität ist gut, für eine Automobilanwendung, insbesondere als Verscheibung, jedoch noch nicht ausreichend. So zeigen transparente, gebogene Kunststoffformteile, die mittels Vakuumtiefziehen hergestellt wurden, immer starke Spannungen innerhalb der Polymermatrix. Diese Spannungen bewirken wiederum bei Durchsicht starke Verzerrungen, so dass diese Scheiben nicht zur Verscheibung geeignet sind. Darüber hinaus weisen diese Kunststoffformteile, insbesondere solche aus PMMA oder PC, oft Oberflächenstörungen, die so genannten Pickel.

Aufgabe

Aufgabe der vorliegenden Erfindung vor dem Hintergrund des diskutierten Standes der Technik war es somit, einen neuen Produktionsprozess zur Herstellung von transparenten Kunststoffformkörpern mit guter optischer Qualität ohne Einsatz von Umformhilfen wie Fetten oder Stoffbezüge auf der Form zur Verfügung zu stellen.

Insbesondere soll dieser Prozess mit kurzen Taktzeiten und einer geringer Ausschussrate, bzw. Fehlproduktionsrate, betrieben werden können.

Darüber hinaus soll der Prozess für mittlere Stückzahlen zwischen 1000 und 100 000 Stück/Jahr wirtschaftlich sein.

- 10 Ganz besonders war es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Prozess zur Verfügung zu stellen, mittels dessen transparente Kunststoffformkörper ohne Pickel oder andere Störstellen an der Oberfläche und gleichzeitig ohne optisch relevante Spannungen in der Polymermatrix hergestellt werden können.

Lösung

Gelöst wurden die Aufgaben durch Bereitstellen eines neuartigen Vakuumtiefziehverfahrens. Mit diesem neuartigen Verfahren können erstmals mit wirtschaftlich interessanten Taktzeiten geformte, transparente Formteile, wie sie z.B. zur Automobilverglasung verwendet werden können, hergestellt werden. Dieses Verfahren besteht aus folgenden Verfahrensschritten:

- a) Vortemperierung des Werkzeugs und eines Rohlings aus einem transparenten Kunststoff,
- b) Vorformen dieses Rohlings, bevorzugt mittels Pressluft oder unter Unterdruck wie z.B. in einem Vakuum,
- 10 c) Formgebung innerhalb des Werkzeugs, bei einer Werkzeugtemperatur, die oberhalb der Vicat-Erweichungstemperatur des transparenten Kunststoffes liegt, unter Unterdruck, wie z.B. in einem Vakuum,
- d) Kühlen des Formgebungswerkzeuges sowie des Bauteils und
- e) Entnahme des geformten, transparenten Formteils.

- 15 Die Vortemperierung in Verfahrensschritt a) kann bevorzugt mittels Induktion durch ein Variothermwerkzeug, mittels IR-Strahlung oder durch eine elektrische Heizpatrone erfolgen.

- Im Allgemeinen ist es für sich schon überraschend, dass sich solche transparenten Formteile mit hoher optischer Qualität mittels eines Vakuumtiefziehverfahren herstellen lassen. Mittels eines Vakuumtiefziehverfahrens nach Stand der Technik hergestellte Formteile zeigten größere Spannungen in der Polymermatrix, welche wiederum für den Betrachter zu größeren Verzerrungen des hinter der Scheibe befindlichen Bildes führten. Überraschend wurde gefunden, dass mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens solche Spannungen vermieden werden können und somit optisch hochwertige, gebogene Scheiben mit hoher Verzerrungsfreiheit hergestellt werden können.

Überraschenderweise konnte darüber hinaus festgestellt werden, dass sich die optische Qualität der Oberfläche hinsichtlich verminderter Pickelbildung bedeutend erhöht, wenn das verwendende Werkzeug in Verfahrensschritt c) über die Vicat-Erweichungstemperatur temperiert wird.

5

Weiterhin gehört es zu den Leistungen der vorliegenden Erfindung, dass durch den zusätzlichen Prozessschritt d) die fertigen Formteile formstabil und damit transportabel aus dem Werkzeug entnommen werden können. Verfahrensschritte c) und d) müssen daher im gleichen Werkzeugteil durchführbar sein. Die Kühlung erfolgt dabei nach abgeschlossener Formgebung in dem noch geschlossenen Werkzeugteil, mit dem der Verfahrensschritt c) durchgeführt wurde.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung ist, dass Zykluszeiten, unabhängig von der Größe des Bauteils, von unter 10 min, insbesondere unter 6 min und bei weiterer Optimierung unter 4 min realisierbar sind.

Darüber hinaus ergibt sich der überraschende Vorteil der vorliegenden Erfindung, dass das Verfahren ohne Einsatz von Umformhilfen wie Fetten oder Stoffbezüge auf der Formoberfläche durchgeführt werden kann. Dies wiederum trägt zu einer zusätzlichen Oberflächenqualitätssteigerung bei.

In einer besonderen Ausführungsform wird der erfindungsgemäße Prozess mit Hilfe einer Einstationen-Vakuumthermoformmaschine durchgeführt. Man unterscheidet im Allgemeinen bei Werkzeugen, die für das Vakuumtiefziehverfahren in Frage kommen, zwischen Einstationen- und Mehrstationenmaschinen. Bei einer Einstationenmaschine, bzw. genauer einer Einstationen-Vakuumthermoformmaschine, erfolgen die Verfahrensschritte a) bis d) im gleichen Werkzeug. Dagegen können in einer Mehrstationenmaschine, bzw. Mehrstationen-Vakuumthermoformmaschine die Verfahrensschritte a), b) und c) jeweils in getrennten Werkzeugteilen erfolgen. In der Regel ist zumindest der Verfahrensschritt a) von den anderen Verfahrensschritten räumlich getrennt, während die Schritte b) bis d) oder zumindestens c) und d) im gleichen Werkzeugteil erfolgen. Das erfindungsgemäße Verfahren ist grundsätzlich in jeder der aufgeführten Maschinen ausführbar.

Darüber hinaus können sowohl Einstationen- als auch Mehrstationenwerkzeuge über weitere angehängte Werkzeugteile, wie eine Stanze und einen Stapler verfügen.

Verschiedene Ausführungsformen solcher Vakuumthermoformmaschine, die für ein Vakuumtiefziehverfahren grundsätzlich geeignet sind können in Becker, Braun, Kunststoff-Handbuch Polyvinylchlorid 2/2, Hanser Verlag, München, 2. Aufl., 1986, ISBN 3-446-14161-8, S.1133-44 nachgelesen werden.

Bei dem transparenten Kunststoff handelt es sich bevorzugt um ein Polymethylmethacrylat (PMMA) oder um ein Polycarbonat (PC). Genauso bevorzugt kann es sich um eine Mischung aus PMMA und PC oder um eine Mischung aus PMMA oder PC mit einem oder mehreren weiteren Bestandteilen handeln. Bei diesen weiteren Bestandteilen kann es sich insbesondere um Polyvinylidenfluorid (PVDF) handeln.

Bei dem PMMA kann es sich um reines PMMA oder um ein Copolymer aus MMA und bis zu 20 Gew% weiterer Comonomere, wie insbesondere Alkylester der Acrylsäure, als Matrixmaterial handeln. Darüber hinaus kann das PMMA neben dem Matrixmaterial bis zu 80 Gew% Schlagzähmodifizier, bevorzugt um Kern-Schale- bzw. Kern-Schale-Schale-Partikel auf (Meth)acrylatbasis aufweisen. Die Formulierung (Meth)acrylat umfasst dabei Methacrylate, Acrylate und insbesondere Mischungen aus Acrylaten und Methacrylaten.

Neben den polymeren Bestandteilen können die Rohlingen und die erfindungsgemäß daraus hergestellten Formteile weitere Zuschlagsstoffe, wie Prozesshilfsmittel, Stabilisatoren oder Additive enthalten. So können zum Beispiel UV- und/oder IR-Absorber bzw. UV-Stabilisatoren enthalten sein. Auch können Farbstoffe vorliegen, wobei diese nicht zu einer Trübung führen dürfen. Weiterhin können Additive zur Verbesserung der Kratzfestigkeit zugegeben sein. Bei den Prozesshilfsmitteln kann es sich beispielsweise um Rheologiemodifizier, Fließhilfsmittel oder Dispergierhilfsmittel handeln.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung handelt es sich bei dem Rohling um einen mehrschichtigen Rohling aus transparenten Kunststoffen. Dabei besteht mindestens eine der Schichten aus PMMA oder aus PC. Die weiteren Schichten können gleichfalls aus PMMA oder PC oder aus einem weiteren Kunststoff, wie zum Beispiel aus PVDF bestehen.

Weiterhin kann das Formteil nach und/oder vor der Entnahme in Verfahrensschritt e) zusätzlich beschichtet werden. Unter einer Beschichtung vor der Entnahme ist zu verstehen, dass die Beschichtung in dem Werkzeug vor oder während Verfahrensschritt b) oder bevorzugt während Verfahrensschritt c) erfolgt. Dabei sind mehrere Varianten denkbar. Zum einen kann das Material zur Beschichtung nach Zugabe des Rohlings in das Werkzeug geleitet bzw. gespritzt werden. Zum anderen kann das Material zur Beschichtung als eine Art Folie in dem Werkzeug vorgelegt oder vorher auf den Rohling gelegt werden. Auch kann die Innenseite des Werkzeugs auf der Oberfläche vorher mit der Beschichtung versehen worden sein. Weiterhin kann der Rohling vor dem Zuführen

in das Werkzeug beschichtet werden. Diese letzte Variante ist jedoch weniger bevorzugt, da es bei diesem Vorgehen zu einer – begründet durch die Formgebung – ungleichmäßigen Beschichtung kommen kann.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem das Formteil während des Verfahrensschritts c) mit einer Beschichtung versehen wird, und bei dem diese Beschichtung auf der Werkzeugoberfläche vorgelegt wird.

Bei den Beschichtungen kann es sich um verschiedene, dem Fachmann allgemein bekannte Beschichtungen handeln. Die folgenden Beispiele sind daher nicht dazu geeignet, die Erfindung in irgendeiner Form einzuschränken. So kann es sich bei der Beschichtung um eine transparente gefärbte Schicht handeln, um zum Beispiel eine getönte Scheibe zu realisieren. Auch kann die Beschichtung UV- und/oder IR-Absorber enthalten, um zum Beispiel im Falle einer Automobilverglasung ein Aufheizen des Fahrzeuginnenraums zu reduzieren. Weiterhin kann es sich bei der Beschichtung um eine Kratzfest- und/oder um eine Antisoiling-Beschichtung handeln. Bevorzugt sind insbesondere Beschichtungen, die zwei oder mehr der aufgeführten Funktionen erfüllt.

Nach Abschluss des Verfahrens kann das Formteil weiter behandelt werden. So kann das Formteil zum Beispiel nach der Entnahme an den Kanten zugeschnitten und/oder poliert wird. Auch kann das Formteil nach der Fertigstellung ein- oder beidseitig, komplett oder teilweise mit einer Schutzfolie versehen werden. Auf diese Weise werden Beschädigungen während der Lagerung oder dem Transport vermieden.

Bevorzugt ist ein Verfahren, bei dem mehrere Formteile in einem Zyklus hergestellt werden. So können in einer besonderen Ausführungsform der Erfindung, mittels derer noch kürzere Taktzeiten erzielt werden können, aus einem Formteil nach der Entnahme mehrere Gutteile geschnitten werden. Auf diese Weise kann die Ausbeute an Formteilen mit einem einzelnen Werkzeug vervielfacht werden.

Neben dem Verfahren ist auch die Verwendung eines mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens hergestellten, transparenten Formteils Teil der vorliegenden Erfindung. Bei diesen erfindungsgemäßen Verwendungen kann es sich insbesondere um einen Gebrauch als Automobilverglasung, Gebäudefenster, Lampenabdeckung oder allgemein als Dekorstück handeln.

Beispiele

Folgend eine beispielhafte Vorschrift zur Herstellung einer optisch einwandfreien bedruckten Automobilverschiebung durch Vakuumtiefziehen:

- Das zuvor bedruckte Halbzeug (z.B. mit Noricryl der Firma Proell) wird in eine
- 5 Vakuumtiefziehmaschine (z.B. T9 der Firma Geiss) eingelegt. Strahler erwärmen das Substrat. Dazu können Quarzglasstrahler, aber auch Strahler des Typ Speedium verwendet werden. Der Spannrahmen bleibt beim Erwärmvorgang noch ein klein wenig geöffnet und schließt endgültig, wenn das Substrat eine Temperatur von ca. 115°C erreicht hat.
- Ist die Erwärmung des eingelegten Zuschnittes abgeschlossen kann nun der
- 10 Vorstreckvorgang eingeleitet werden. Das geschieht unter Verwendung von Über- oder Unterdruck. Entscheidend ist hierbei, dass die entstehende Blase in etwa schon grob die Form des Werkzeugs abbildet.
- Ist der Vorstreckvorgang abgeschlossen, fährt das Werkzeug in die Blase hinein. Um später auch eine hohe Oberflächenqualität (Class-A Oberfläche) auf der Kontaktseite
- 15 Kunststoff/PMMA zu gewährleisten, ist es wichtig, dass das Werkzeug auf einen Temperaturbereich zwischen 110°C und 140°C temperiert ist.
- Anschließend wird Vakuum angelegt, so dass sich das erhitzte Substrat an das erhitzte Werkzeug anschmiegt und die Form abgebildet wird.
- Nach einer gewissen Haltezeit, beginnt die Maschine das Substrat von oben mit Gebläsen
- 20 zu kühlen, während gleichzeitig auch das Werkzeug auf eine Temperatur deutlich unterhalb der Vicat-Temperatur eingestellt wird und den Kühlprozess damit werkzeugseitig unterstützt.
- Ist die Temperatur des Substrates unterhalb der Dauergebrauchstemperatur, kann mit dem Entformungsvorgang begonnen werden. Ohne die Kühlung durch das Werkzeug, wird durch die hohe Temperatur des Werkzeugs das Formteil aufgeheizt und verliert beim Entformen
- 25 seine Formtreue. Nach Abschalten des Vakuums, fährt das Werkzeug wieder in Grundstellung zurück. Ist das geschehen, fährt auch der Spannrahmen wieder in Grundstellung, so dass das fertige Formteil entnommen werden kann.

Ansprüche

1. Vakuumtiefziehverfahren zur Herstellung geformter, transparenter Formteile, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren aus folgenden Verfahrensschritten besteht:
 - a) Vortemperierung des Werkzeugs und eines Rohlings aus einem transparenten Kunststoff,
 - b) Vorformen dieses Rohlings,
 - c) Formgebung innerhalb des Werkzeugs, unter Unterdruck und bei einer Werkzeugtemperatur, die oberhalb der Vicat-Erweichungstemperatur des transparenten Kunststoffes liegt,
 - d) Kühlen des Formgebungswerkzeuges sowie des Bauteils und
 - e) Entnahme des geformten, transparenten Formteils.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Vorformen in Schritt b) mittels Pressluft erfolgt.
3. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Vorformen in Schritt b) und/oder die Formgebung in Schritt c) unter Vakuum erfolgt.
4. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Vortemperierung in Verfahrensschritt a) mittels Induktion durch ein Variothermwerkzeug, mittels IR-Strahlung oder durch eine elektrische Heizpatrone erfolgt.
5. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei dem transparenten Kunststoff um ein Polymethylmethacrylat (PMMA) oder um ein Polycarbonat (PC) handelt oder um eine Mischung aus PMMA, PC und weiteren Bestandteilen
6. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass es sich bei dem Rohling um einen mehrschichtigen Rohling aus transparenten Kunststoffen handelt, wobei mindestens eine der Schichten aus PMMA oder aus PC besteht.
7. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Formteil nach und/oder vor der Entnahme zusätzlich beschichtet wird.

8. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Formteil während des Verfahrensschritts c) mit einer Beschichtung versehen wird, und dass diese Beschichtung auf der Werkzeugoberfläche vorgelegt wird.
- 5 9. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Formteil nach der Entnahme an den Kanten zugeschnitten und/oder poliert wird.
10. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass aus einem Formteil nach der Entnahme mehrere Gutteile geschnitten werden.
11. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mehrere Formteile in einem Zyklus hergestellt werden.
- 10 12. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Rohling ein- oder beidseitig, komplett oder teilweise mit einer Schutzfolie versehen wird.
13. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Prozess mit Hilfe einer Einstationen-Vakuumthermoformmaschine durchgeführt wird.
- 15 14. Verwendung eines transparenten Formteils, das gemäß mindestens einem der Ansprüche 1 bis 13 hergestellt wurde, zur Automobilverglasung, als Gebäudefenster, als Lampenabdeckung oder als Dekorstück.