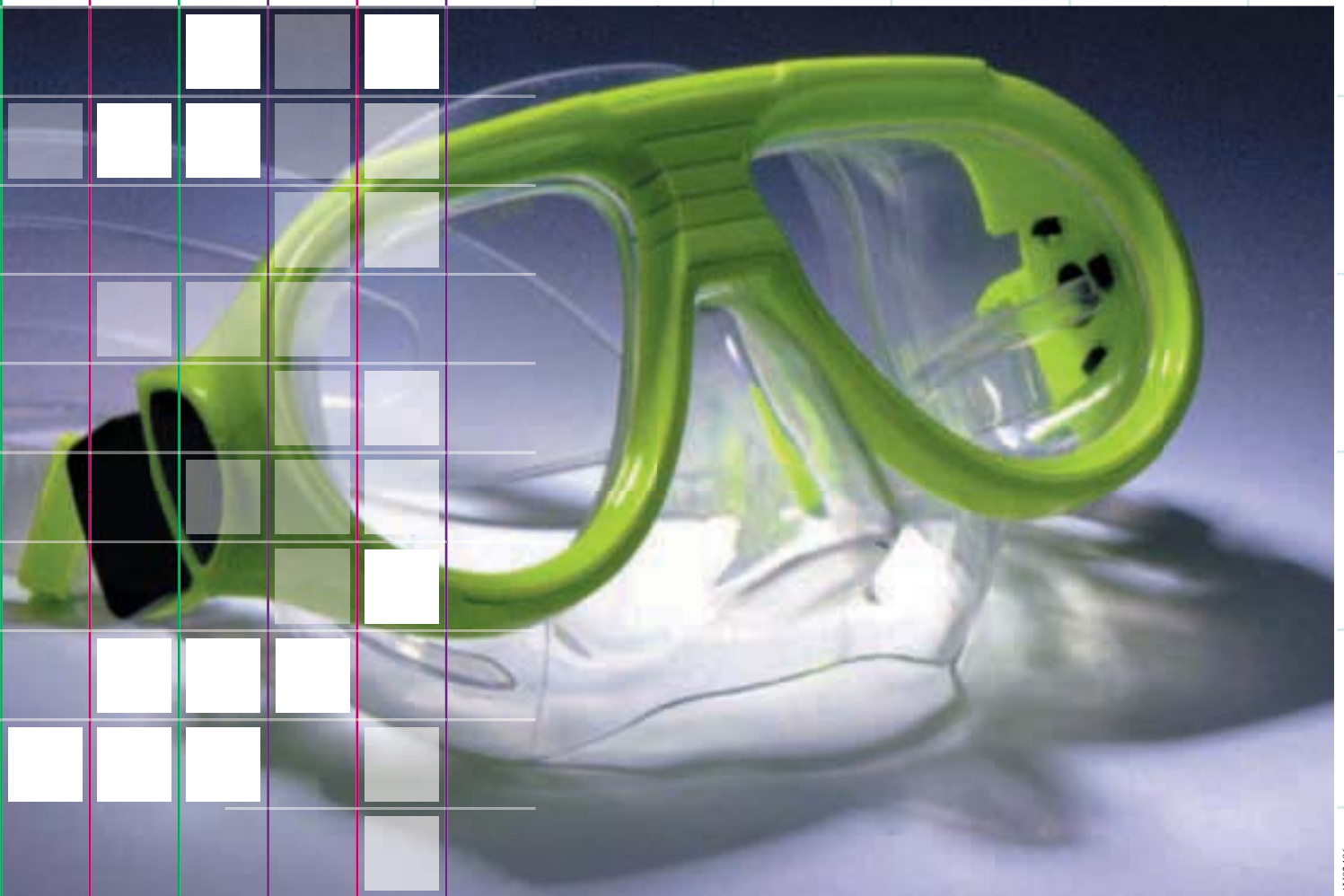


**Spritzgießen von SILASTIC®
Flüssigsilikonkautschuk**

Technischer Service & Entwicklung



AV02496

Rubber Fabrication
Solutions

DOW CORNING

Das Spritzgießen von Flüssigsilikonkautschuk gewinnt in der Verarbeitung von Elastomeren immer mehr an Bedeutung. Gründe hierfür sind einerseits die immer höheren Anforderungen an die Endeigenschaften der Formteile, zum anderen erkennen aber auch immer mehr Verarbeiter die Vorteile des hohen Automatisierungsgrades und der hohen Produktivität.

Die Zielsetzung dieser Broschüre ist, Ihnen die Grundlagen des Spritzgießens von *SILASTIC® Liquid Silicone Rubber* zu erläutern. Sie richtet sich genauso an Techniker und Ingenieure wie an Einrichter und technische Kaufleute, die sich schon mit Flüssigsilikonkautschuk befassen oder die Vorzüge kennenlernen wollen.

Der Inhalt umfaßt unter anderem die Gebiete Materialeigenschaften, Formenbau und Produktion. Das Kapitel *Störungssuche* soll Ihnen helfen, häufig auftretende Fehler zu erkennen und schon während der Produktion zu beseitigen und somit in der Zukunft zu verhindern.

Weitere Informationen zu den *SILASTIC®* Flüssigsilikonkautschuk-Typen entnehmen Sie bitte dem "*SILASTIC® Flüssigsilikonkautschuk LSR Standardtypen Auswahlleitfaden*".

Die Abteilung *Technischer Service und Entwicklung* in Wiesbaden sowie unser *technischer Verkauf* steht Ihnen für weitere Fragen gerne zur Verfügung:



Inhaltsverzeichnis	Seite
SILASTIC[®] FLÜSSIGSILICONKAUTSCHUK LSR LIQUID SILICONE RUBBER	3
Allgemeines.....	3
Sicherheitshinweise	3
TECHNOLOGIEVORTEILE VON LSR.....	4
ANWENDUNGEN	5
EIGENSCHAFTEN UND SPRITZGIEßEN VON LSR	6
Viskositäten von LSR	6
Einspritzen	7
Nachdruck.....	8
Massepolster.....	8
Forminnendruck	8
Materialförderung	9
Mischen.....	9
Dosierung.....	9
Staudruck.....	10
Vernetzungsverhalten von LSR	10
Tempern.....	12
GRUNDSÄTZE BEIM DESIGN VON LSR SPRITZGIEßWERKZEUGEN	14
Schrumpf.....	14
Trennfläche	14
Entlüftung	15
Anspritzenpunkt	16
Auswerfer und Entformung.....	16
Werkzeugstahl	17
Oberflächenbeschaffenheit	18
Werkzeugbeheizung	19
AUSWAHL DER MASCHINE.....	20
Zuhaltekraft der Spritzgießmaschine.....	20
Spritzeinheit	20
Pumpstation	20
SONSTIGE SPRITZGIEßVERFAHREN	21
Zweikomponenten-Spritzgießen	21
Spritzgießen von einkomponentigem HTV <i>SILASTIC[®] RapidCure</i>	23
ANFAHREN DER MASCHINE	25
Temperaturvorwahl	25
Spritzvolumen und Einspritzgeschwindigkeit	25
Umschaltzeitpunkt und Nachdruck.....	26
Vulkanisationszeit.....	26
Entformung	27
Produktionsende und Reinigung	27
STÖRUNGSSUCHE BEIM SPRITZGIEßEN	28

SILASTIC[®] FLÜSSIGSILICONKAUTSCHUK LSR LIQUID SILICONE RUBBER

Allgemeines

Beschreibung

SILASTIC Flüssigsiliconkautschuk wurde von Dow Corning Ende der siebziger Jahre erstmals entwickelt und in den Kautschukmarkt eingeführt.

Seitdem haben sich die guten Verarbeitungs- und Produktionseigenschaften des LSR in vielen bestehenden und neuen Anwendungen durchgesetzt. Wir halten eine große Produktpalette für Sie bereit, mit der sowohl universelle Anwendungen als auch Spezialanforderungen erfüllt werden können.

Wichtige Eigenschaften

Die Viskosität von LSR variiert von leicht gießbar bis pastös. Es handelt sich um zweikomponentige Systeme, deren Bestandteile A und B meist im Verhältnis 1:1 gemischt werden müssen. Sie bestehen aus Polysiloxan-Polymeren oder -Copolymeren, die durch Polyaddition vernetzt werden.

Technischer Service

Die Dow Corning Anwendungstechnik und der technische Verkauf unterstützen Sie bei der Auswahl und Verarbeitung von *SILASTIC* Flüssigsiliconkautschuken.

Verpackung

SILASTIC Flüssigsiliconkautschuke werden in aufeinander abgestimmten Gebinden von 200 Liter Fässern oder 20 Liter Hobbocks geliefert. Der exakte Verpackungsinhalt variiert, abhängig von der Dichte, von Produkt zu Produkt. Detaillierte Informationen können den jeweiligen Produkt-Datenblättern entnommen werden.

Lagerfähigkeit

Wird das Material bei maximal 32°C im ungeöffneten Originalgebinde gelagert, garantiert Dow Corning eine Verwendbarkeit von mindestens 6 Monaten ab Lieferung. Das Ablaufdatum ist angegeben.

Beispiel: EXP 03/99 heißt, daß das Material bis zum 31. März 1999 zu verarbeiten ist.

Sicherheitshinweise

Sicherheitsdatenblätter stehen von Dow Corning zur Verfügung.

ACHTUNG: Für eine sichere Verarbeitung bitte Sicherheitsdatenblätter, Behälteretiketten, Hinweise und Industrie-Hygienestandards (gute Belüftung, Absaugung) beachten, um jede Art von Gefährdung auszuschließen.

TECHNOLOGIEVORTEILE VON LSR

Grundlegende Vorteile durch die Additionsvernetzung

- keine Vernetzer-Spaltprodukte (im Unterschied zur peroxidischen Vernetzung)
- lange Topfzeit bei Raumtemperatur aber schnelle Vulkanisation oberhalb von 150°C (Standard LSR)

Technologievorteile von LSR

- leichtere Verarbeitbarkeit als bei Festsilikonkautschuk
- verarbeitungsfertig compounding
- leicht einfärbbar mit speziellen Pigmenten
- automatisierte Spritzgießfertigung möglich, vergleichbar mit dem Spritzgießen von Thermoplasten
- gute Heißentformbarkeit
- kurze Zykluszeiten, hohe Produktivität
- gratlose Spritzlinge mit enger Toleranz in den Teiledimensionen
- Nachtemperung nicht für jede Anwendung erforderlich
- gute direkte Haftung auf speziellen Einlegeteilen
- hervorragende Transparenz sowie Geruchs- und Geschmacksneutralität
- großer Temperatureinsatzbereich von -60°C bis +180°C
- besonders gute gummielastische Eigenschaften
- UV- und Ozonbeständigkeit sowie sehr gute Witterungs- und Alterungsstabilität
- unlöslich in Wasser und vielen organischen Lösungsmitteln
- sehr gute Ölbeständigkeit spezieller *SILASTIC*-Typen
- sehr gute dielektrische Eigenschaften über den Temperatureinsatzbereich



ANWENDUNGEN

Anwendungsbeispiele für LSR

Der Einsatz von *SILASTIC* LSR ist verbreitet in der Spritzgießfertigung, der Gewebebeschichtung und in Tauch- und Extrusionsbeschichtungsprozessen.

Einige der zahlreichen Einsatzmöglichkeiten liegen in den Bereichen Anlagen- und Apparatebau sowie in der Automobil-, Luftfahrt-, Elektro- und Verbrauchsgüterindustrie.

Im Lebensmittelbereich

Einige *SILASTIC* Flüssigsilikonkautschuk-Typen entsprechen nach Art und Zusammensetzung den Vorschriften der FDA 21 CFR 177.2600 und der BgVV (ehemals BGA) XV bei vorschriftsmäßiger Temperung.

Extrusions- und Textilbeschichtung

Flüssigsilikonkautschuke sind für diese Anwendungen besonders geeignet, weil sie:

- lösemittelfrei in unterschiedlichen, auch sehr niedrigen, Viskositäten erhältlich sind,
- leicht zu mischen und einzufärben sind,
- schneller zu verarbeiten sind als Dispersionen, und jede Schicht in einem einzigen Arbeitsgang aufgetragen werden kann,
- ohne Primer auf Glas und auf anderen speziellen Materialien haften.

Gebrauchsfertig gemischter LSR kann außerdem für Tauchbeschichtungen eingesetzt werden oder mit einem Querspritzkopf auf einen Träger aufextrudiert werden.

Für die Beschichtung von Gewebepapieren können Standardtechniken angewandt werden.



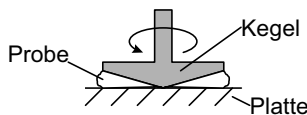
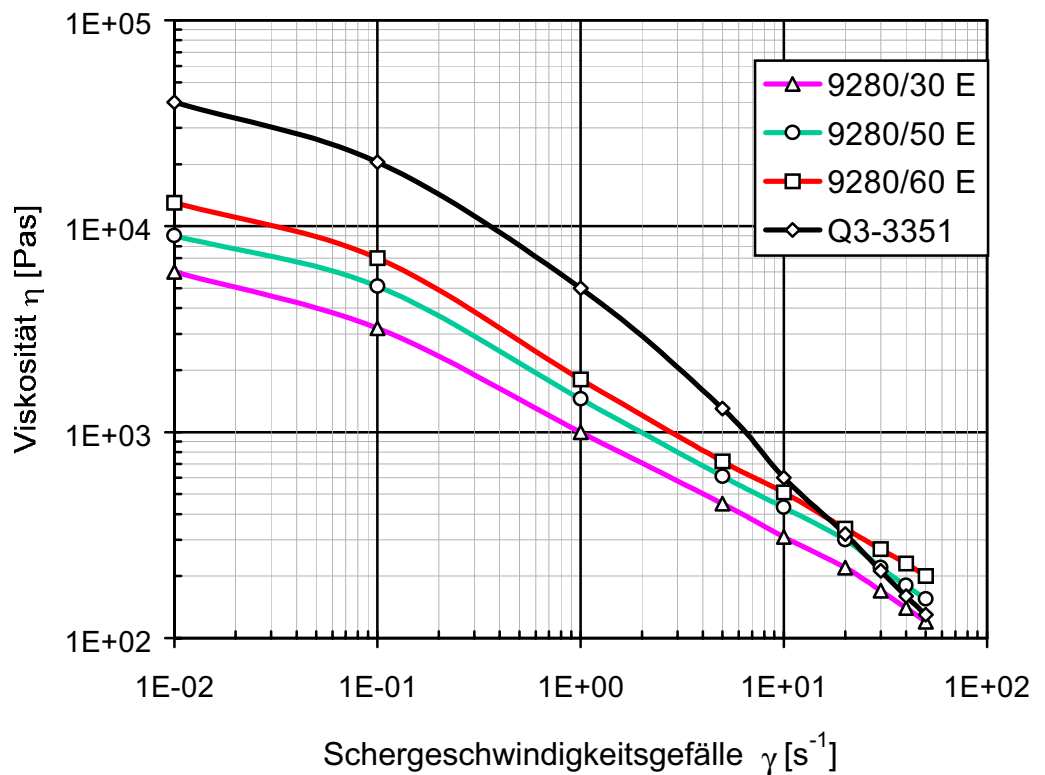
Einfärben von LSR

Das Einfärben kann mit *SILASTIC*[®] LPX-Flüssigsilicon-Farbmasterbatches erfolgen. Weitere Informationen hierzu sind von Dow Corning erhältlich.

EIGENSCHAFTEN UND SPRITZGIEßEN VON LSR

Viskositäten von LSR

Wie fast alle Polymere ist auch *SILASTIC* LSR ein Material mit einer sehr ausgeprägten Strukturviskosität. Dies bedeutet, daß die Viskosität sehr stark von der auftretenden Schergeschwindigkeit abhängt. Die Siliconmasse wird mit zunehmender Schergeschwindigkeit immer niederviskoser. Für die Spritzgießverarbeitung hat dies den Vorteil, daß auch Formnester mit sehr hohem Fließweg-Wanddickenverhältnis mit niedrigen Einspritzdrücken gefüllt werden können.



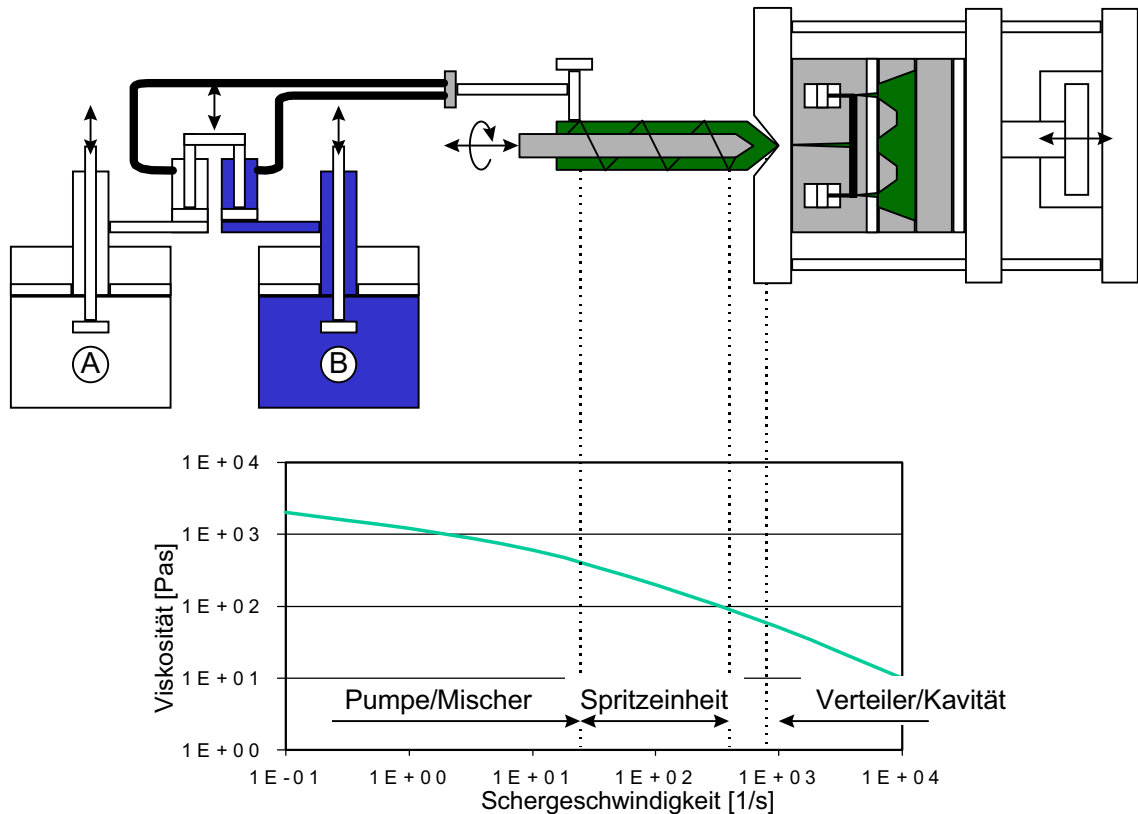
Das Diagramm zeigt den typischen Viskositätsverlauf von einigen Flüssigsilikonkautschuken. Diese Werte wurden auf einem Kegel/Platte Rheometer bei 25°C gemessen.

Bei elektrisch leitfähigem LSR Q3-3351 sieht man, daß dieses Material bei niedriger Scherung hochviskoser als die Standardmaterialien ist. Bei den im Spritzgießprozeß auftretenden Scherungen wird es jedoch niederviskoser als diese.

Man kann daher nicht unbedingt von der im Ruhezustand vorliegenden Viskosität auf den Prozeß extrapolieren. Obwohl dieses Material nur durch größeren Energieaufwand aus den Gebinden zu fördern ist, sind die Einspritzdrücke doch eher geringer einzustellen, um so eine Gratbildung zu

vermeiden.

Die Schergeschwindigkeiten die während des Prozesses auftreten sind in folgendem Diagramm zu sehen:



Die Schergeschwindigkeiten sind an den Anspritzpunkten sowie in den Kavitäten mit Werten bis zu $1 \times 10^{-4} \text{ 1/s}$ am höchsten. Die Viskosität ist hier oft 10 bis 100 mal niedriger als in der Pumpstation.

Diese extrem niedrigen Viskositäten ermöglichen dem Flüssigsilikonkautschuk, sich während des Einspritzvorganges auch in die kleinsten Spalte zu drücken. Daher ist besonders wichtig, daß die Auslegung der Form auf diese Eigenschaft hin konstruiert wird. Alle Entlüftungskanäle oder andere Spalte mit mehr als 5 - 7,5 μm führen zu Grat am Artikel.

Einspritzen

Die Höhe des Einspritzdrucks ist überwiegend von der Geometrie des Angußkanals abhängig. Er beträgt in der Regel zwischen **100 und 1000 bar**.

Die Einspritzgeschwindigkeit sollte bei *SILASTIC* LSR relativ hoch eingestellt werden. Man kann als Richtwert eine Einfüllzeit von **0,5 - 3 Sekunden** nennen.

Der Volumenstrom soll während der Einspritzphase so hoch sein, daß der Flüssigsilikonkautschuk nicht zu vulkanisieren beginnt bevor die Kavität gefüllt ist, und so ein Verstrecken

Nachdruck

des Materials im Angußbereich vermieden wird.

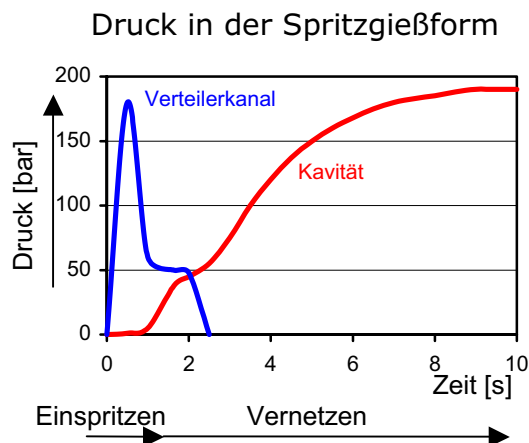
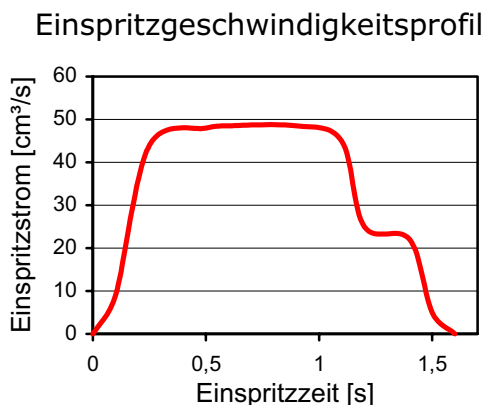
Der Umschaltpunkt auf den Nachdruck ist am besten weg- oder volumenabhängig einzustellen.

Im Gegensatz zum Thermoplastspritzgießen hat der Nachdruck beim Flüssigsiliconspritzgießen nicht die Aufgabe, die Volumenkontraktion durch das Abkühlen der Schmelze im Formnest zu unterbinden. Er sorgt stattdessen für den nötigen Gegendruck, damit kein LSR, das sich durch den Temperaturanstieg ausdehnt, aus der Kavität wieder zurück gedrückt wird.

Er steht üblicherweise **0,5 - 4 Sekunden** mit einem Druck von **50 - 200 bar** an, bis das Silicon im Anschnitt vernetzt, und somit nichts mehr zurückfließen kann.

Massepolster

Um Überspritzungen zu vermeiden empfiehlt es sich, das Massepolster gegen Null zu fahren.



Forminnendruck

Der Forminnendruck steigt mit der Zeit, da sich das eingespritzte Silicon durch den Temperaturanstieg ausdehnt.

Der Druckanstieg durch die Wärmeausdehnung tritt früher als die Vulkanisation ein. Aufgrund dessen kann das Material in der Zeit kurz nach der Füllung auch durch die Ausdehnung in enge Spalte gedrückt werden, da es in den Randschichten noch nicht genügend vulkanisiert ist. Wird die Kavität präzise mit einem Volumen von 98 - 99 % untermetrisch gefüllt, dann erfolgt die restliche Kavitätenfüllung durch die Dilatation des Materials in der heißen Form. Gratbildung kann so sehr gut verhindert werden, da der Forminnendruck nicht zu hoch steigt.

Dieses präzise Füllen stellt eine hohe Anforderung an die Steuerung der Spritzgießmaschine. Die gesamten Maschinenbewegungen müssen mit einer hohen Genauigkeit immer wieder gleich ausgeführt werden.

Materialförderung

Der Forminnendruck liegt typischerweise bei bis zu 300 bar.

Die zwei Komponenten des Flüssigsilikonkautschuks werden aus 200 Liter Fässern oder aus 20 Liter Hobbocks über hydraulisch oder pneumatisch angetriebene Schöpfkolbenpumpen im Verhältnis 1:1 durch flexible Leitungen zu einem statischen Mischer gefördert. Der Druck im LSR liegt hier bei ca. 150 - 220 bar. Zusätzlich können jetzt noch 0,1 - 6 % Farbadditiv zugeführt werden.

Wenn mit einer Anlage häufiger verschiedene Farben gefahren werden oder wenn mehr als eine Spritzeinheit von der Pumpstation beschickt wird, können mehrere Additivpumpen angeschlossen werden.

Mischen

In einem Mischrohr werden die zwei Hauptkomponenten und eventuell ein Additiv durch versetzt aneinandergereihte Wendeln gefördert und dadurch homogen vermischt.

Dosierung



Der Druck des durch die Pumpen geförderten Materials wird auf 30 - 70 bar reduziert, bevor es in die speziell für Flüssigsiliconspritzguß entwickelte Spritzeinheit gelangt.

Die Spritzeinheit verfügt für die Verarbeitung von LSR oft nur über eine Förderschnecke. Das heißt, das Kompressionsverhältnis beträgt 1:1. Um eine optimale Durchmischung des Materials zu gewährleisten, werden teilweise Schnecken mit einem zusätzlichen Mischbereich in der Meteringzone eingesetzt. In einigen Fällen wird auch ein dynamischer Mischer in Verbindung mit einem Spritzkolben eingesetzt.

Besonderes Augenmerk sollte der Rückstromsperre gelten. Sie muß einen exakten und reproduzierbaren Schließmechanismus aufweisen, damit das Schußvolumen nicht durch Leckströmungsverluste variiert.

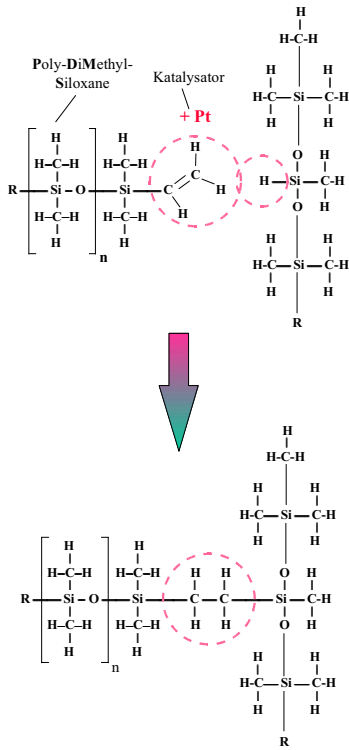
Aufgrund der im Verhältnis zu thermoplastischen Schmelzen sehr niedrigen Viskosität sind standardmäßig eingesetzte Rückstromsperren oft zu träge und schließen nicht immer sofort wenn die Schnecke mit dem Einspritzvorgang startet. Gute Ergebnisse sind mit federbelasteten Büchsen oder mit solchen Rückstromsperren zu erzielen, die extra für diese Anwendung über sehr kleine Schließwege verfügen.

Die Dosiergeschwindigkeit sollte so gewählt werden, daß sie:

- die Zykluszeit nicht verlängert,
- das Material nicht unnötig thermisch vorbelastet und dadurch partielle Vernetzungen verursachen könnte.

Staudruck

Vernetzungsverhalten von LSR



Der spezifische Staudruck wird auf 5 - 30 bar eingestellt.

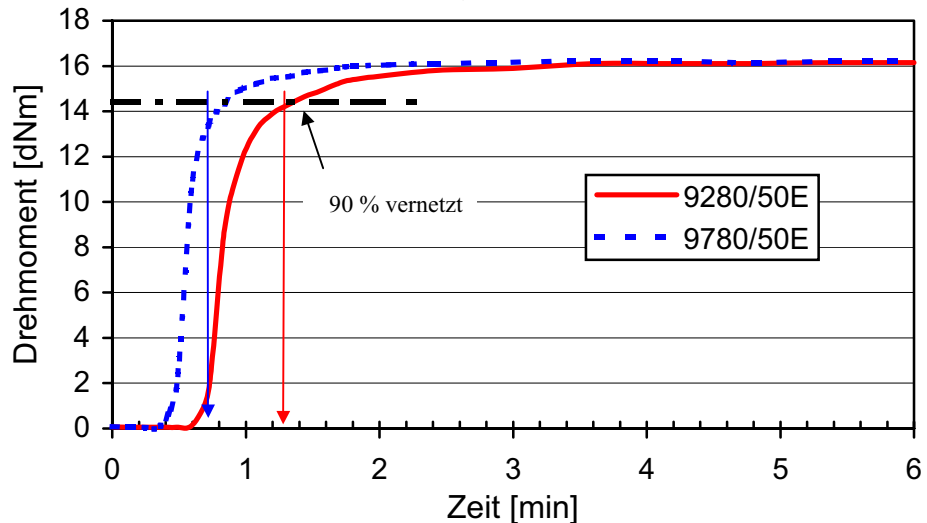
Vinyl- und Wasserstofffunktionelle Polysiloxane werden mittels eines Platinkatalysators vernetzt. Diese Reaktion findet schon bei Raumtemperatur statt, wird aber durch eine Erhöhung der Temperatur überproportional beschleunigt. Die Topfzeit (Verarbeitungszeit) einer Mischung beträgt bei Raumtemperatur mindestens 3 Tage.

Wird ein Flüssigsiliconkautschuk in einem Rheometer auf seine Vernetzung hin getestet, erhält man einen Drehmomentverlauf der Prüfung über die Meßzeit.

Aus der aufgezeichneten Kurve lassen sich verschiedene Zusammenhänge ablesen. Hervorzuheben sind hierbei die Zeiten, in denen bestimmte Stufen der Vernetzung erreicht sind.

Zu Beginn ist die Probe noch sehr plastisch und setzt der Deformation durch das Prüfgerät keinen Widerstand entgegen. Wenn der Flüssigsiliconkautschuk nach einiger Zeit die Wärme der Prüfkammer anzunehmen beginnt, steigt durch die startende Vulkanisation das Drehmoment an.

Vernetzung von Silastic LSR



Gemessen mit Monsanto MDR bei 120°C

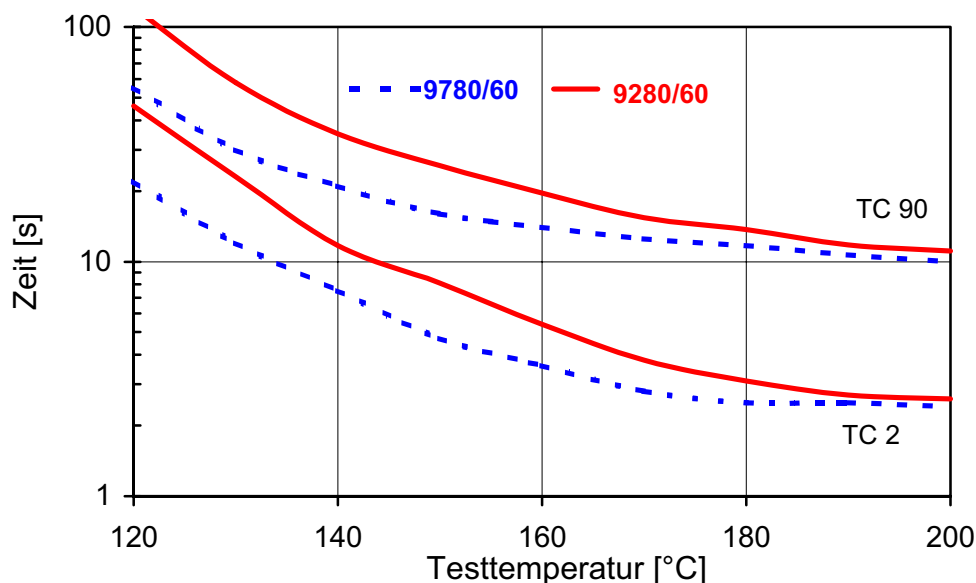
Die Benennung TC 2 gibt die Zeit an, in der 2 % des maximalen Drehmomentes erreicht wurden. Die TC 2-Zeit macht eine Aussage über den Beginn der Vernetzungsreaktion.

Interessant ist auch der TC 90-Wert. Hierbei liegen 90 % des

maximal erreichten Drehmomentes an. Die Vernetzung ist dann schon so weit ausgebildet, daß bei einem Spritzgießprozeß die Entformung erfolgen könnte.

Bei 25°C vergehen einige Wochen bis das Material ausvulkanisiert ist, bei Temperaturen oberhalb von 120°C dauert dieser Vorgang jedoch nur noch wenige Sekunden.

Vulkanisationszeit als Funktion der Temperatur



Gemessen mit Monsanto MDR

Bei Formtemperaturen von 170 - 210°C vernetzt Flüssigsilikonkautschuk am schnellsten und ermöglicht so eine hohe Produktivität des Prozesses.

Die Geschwindigkeit, mit welcher der Flüssigsilikonkautschuk vulkanisiert, ist überwiegend von vier Faktoren abhängig:

- Werkzeugtemperatur, Temperatur von eventuellen Einlegeteilen
- Temperatur des LSR beim Eintreffen in die Kavität
- Geometrie des Artikels, Verhältnis der Oberfläche zum Volumen
- grundsätzliches Vulkanisationsverhalten und der Chemismus der Vernetzung

Um eine Erhöhung der Produktivität des Spritzgußzyklus durch eine Verkürzung der Vernetzungszeit zu erreichen, sind folgende Möglichkeiten gegeben:

- Erhöhung der Werkzeugtemperatur
- Verwendung eines schnelleren Materials wie *SILASTIC*[®] 9780/xx E

Erwärmung von Spritzaggregat und Kaltkanal mit Hilfe eines Temperiergerätes auf 40 - 80°C

Die Vorwärmung der einzuspritzenden Siliconmasse ist nur dann zu empfehlen, wenn ein vollautomatischer Prozeß vorliegt, in dem größere Artikel mit einem kleinen Oberflächen-Volumenverhältnis hergestellt werden.

Wenn die Maschine in ihrem Zyklus unterbrochen wird, muß nach kurzer Zeit eine Kühlung aktiviert werden, um eine Vernetzung des Materials zu verhindern.

Es ist wichtig, an diesem Punkt darauf hinzuweisen, daß die Vulkanisationszeit oftmals nicht der ausschlaggebende Faktor für die Zykluszeit ist.

Die Entformung der Artikel oder teilweise auch die Dosierung des Flüssigsiliconkautschuks in den Spritzzylinder ist oft ein viel größerer Zeitfaktor. Wird auf einer Maschine eine Form mit einer hohen Anzahl von Formnestern gefahren, die als einzelne Artikel nur eine kurze Vulkanisationszeit benötigen würden, so kann es sein, daß die Dosiereinheit nicht schnell genug das erforderliche Schußvolumen fördern kann und somit die Dosierzeit den Zyklus verlängert.

Um eine größtmögliche Produktivität zu erlangen, müssen sämtliche Maschinenparameter optimal eingestellt werden. Allerdings sollten die Zeiten, wie z. B. für das Abblasen von Artikeln, nicht so kurz eingestellt werden, daß die Maschine bereits nach wenigen Zyklen den Formschutz aktiviert, weil nicht alle Teile entformt wurden.

Um die Vulkanisationszeit eines sich in der Planung befindenden Artikels vorauszubestimmen, kann man in vielen Fällen mit einer Durchvulkanisationszeit **von 3 - 5 sec/mm** rechnen.

Dieser Faktor wird mit zunehmender Wandstärke größer. Exaktere Aussagen können mit der Hilfe verschiedener Simulationsprogramme getroffen werden.

Tempern

Müssen die gefertigten Artikel gewisse Richtlinien wie z. B. BgVV oder FDA erfüllen, ist eine Nachtemperung unbedingt notwendig. Hierbei entweichen flüchtige Bestandteile aus dem Vulkanisat.

Oft sind auch besonders hohe mechanische Eigenschaften von dem Siliconkautschuk gefordert, die durch das Nachvulkanisieren verbessert werden. Ein typischer Tempervorgang findet bei **200°C über 4** Stunden in einem Ofen mit Frischluftzufuhr statt. Abhängig von den geforderten Eigenschaften des gefertigten Artikels kann die Temperatur oder auch die Zeit reduziert werden. Um die Kriterien nach BgVV bezüglich der Flüchtigkeit zu erfüllen,

**Frischluftzufuhr pro kg
Siliconartikel:**
≈ 80 - 110 Liter/min

| sollte der Temperprozeß durch Versuche angepaßt werden.

GRUNDSÄTZE BEIM DESIGN VON LSR SPRITZGIEßWERKZEUGEN

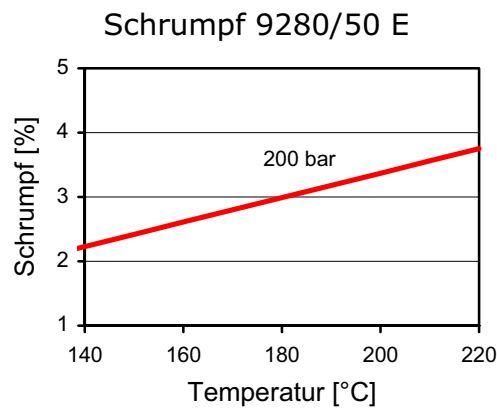
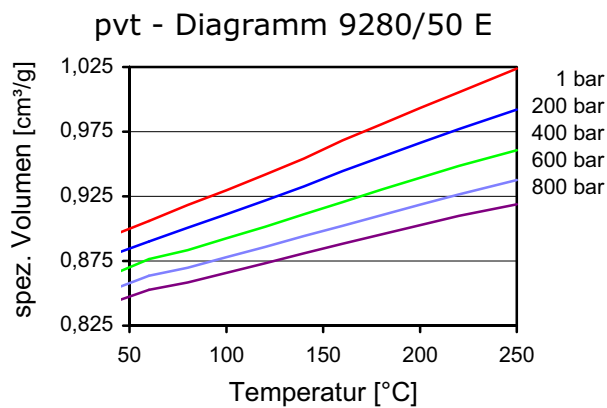
Das Design von Spritzgießformen für Flüssigsilikonkautschuk ist prinzipiell dem Design von Thermoplastformen gleich. Einige wichtige Unterschiede, die durch das Verhalten des Materials gegeben, sind sollten dennoch beachtet werden.

Durch die relativ niedrige Viskosität des LSR sind die Füllzeiten der Kavität auch bei geringen Spritzdrücken sehr kurz. Damit keine Lufteinschlüsse im Formteil entstehen, kommt es auf eine gute Entlüftung der Form an.

LSR schrumpft nicht wie ein thermoplastischer Kunststoff in der Form. Der Flüssigsilikonkautschuk expandiert in der heißen Form. Aufgrund dessen bleiben die Artikel nicht unbedingt wie gewohnt auf einem Formkern oder allgemein in der positiven Formseite hängen. Normalerweise bleiben die Formteile in der Kavität mit der größeren Oberfläche hängen.

Schrumpfung

Auch wenn die Artikel nicht in der Form schrumpfen, so werden sie nach dem Entformen und dem anschließenden Abkühlen um etwa 2,5 - 3 % schrumpfen.



Dieser Schrumpfung ist von einigen Faktoren abhängig:

- Werkzeugtemperatur und Entformungstemperatur
- Forminnendruck und daraus folgend die Kompression des Materials
- Lage des Anspritzpunktes (der Schrumpfung längst zur Fließrichtung ist erfahrungsgemäß etwas höher als quer zur Fließrichtung)
- Dimension des Formteils (bei größeren Wandstärken ist der Schrumpfung niedriger als bei dünnwandigen Artikeln)
- Tempern der Artikel bewirkt nochmals Schrumpfung um etwa 0,5 - 0,7 %

Trennfläche

Die Entscheidung über die Lage der Trennfläche ist einer der ersten Schritte bei der Entwicklung der Spritzgießform.

Entlüftung

Die durch den Materialfluß erforderliche Entlüftung erfolgt über die in die Trennfläche eingearbeiteten Entlüftungskanäle. Sie soll daher in dem Bereich liegen, den das Material als letztes erreicht. Dadurch werden Lufteinschlüsse vermieden, und die mechanische Festigkeit der Formteile erfährt an der Zusammenflußstelle keine Beeinträchtigungen.

Am gespritzten Formteil ist die Formtrennung später immer erkennbar. Dieser Bereich ist durch die niedrige Viskosität des LSR sehr empfindlich und kann dort schnell Gratbildung hervorrufen.

Eine spätere Entformung der Artikel wird durch Form und Lage der Trennebene beeinflusst. Hier können Hinterschneidungen eine gezielte Haftung in der gewünschten Formhälfte bewirken.

Die Luft, die im Formnest eingeschlossen ist, wird durch den eingespritzten LSR zunächst komprimiert und dann verdrängt. Wenn nicht die gesamte Luft entweichen kann, sieht man am Artikel Lufteinschlüsse, die oft durch einen weißen Rand am Formteil erkennbar sind.

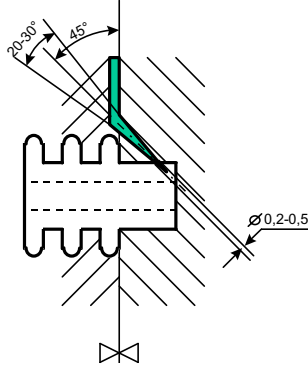
Damit die Luft entweichen kann werden spezielle Entlüftungskanäle mit 1 - 3 mm Breite sowie 0,004 bis maximal 0,005 mm Tiefe in die Trennebene eingearbeitet.

Optimale Entlüftung wird mittels eines Vakuums erzeugt. Hierfür stoppt die Form während der Schließbewegung 0,5 - 2 mm bevor sie ganz geschlossen ist. In der Trennfläche ist eine Dichtung eingebaut, so daß eine Vakuumpumpe die Luft aus den Kavitäten ziehen kann. Erst wenn das Vakuum einen bestimmten Unterdruck erreicht hat oder ein Zeitprogramm abgelaufen ist, wird das Werkzeug ganz geschlossen und der Einspritzprozess gestartet.

Einige moderne Spritzgießmaschinen ermöglichen es, mit unterschiedlicher Zuhaltkraft zu operieren. Hier wird die Form solange mit einer geringen Kraft zusammengehalten, bis die Kavitäten zu 90 - 95 % gefüllt sind. Hierdurch kann Luft besser über die Trennflächen entweichen. Erst dann wird auf den hohen erforderlichen Schließdruck umgeschaltet und so eine Gratbildung durch sich ausdehnendes Material verhindert.

Anspritzpunkt

Tunnelanguß:



Materialerwärmung durch Dissipation:

$$\Delta T \cong \Delta \pi / \rho \times c_p$$

Für LSR kann man grob mit 4 - 6K/100 bar rechnen.

Die Erwärmung, die durch die Friktion während des Einspritzens im LSR entsteht, kann nahezu vernachlässigt werden.

Δp Druckgefälle

ρ Dichte LSR

c_p Wärmekapazität LSR

Auswerfer und Entformung

Die Art der Anspritzung ist von einigen Faktoren abhängig. Um die technischen Vorteile von *SILASTIC* LSR voll nutzen zu können, sollte ein System mit Kaltkanal angestrebt werden. So wird die höchstmögliche Produktivität erreicht. Ziel ist es, die Artikel so zu fertigen, daß keinerlei Anguß entfernt werden muß.

So wird erstens ein sehr arbeitsintensiver Nachbearbeitungsprozeß eingespart und zweitens kann eine teilweise erhebliche Materialeinsparung erreicht werden, die in vielen Fällen auch zu einer Reduzierung der Zykluszeit führt.

Es gibt Düsen, die mit Hilfe einer Nadel geöffnet und geschlossen werden. Diese Verschlüßdüsen sind in die Form eingebaut oder in einigen speziellen Fällen auch auf das Spritzaggregat anstelle der standardmäßigen Düse montiert. Pneumatisch gesteuerte Nadelverschlüßdüsen sind heutzutage schon als Normalie erhältlich und können so von jedem Werkzeugbauer an beliebigen Positionen in das Spritzgußwerkzeug eingebaut werden.

Einige Formenbauer haben sich auf die Entwicklung von offenen Kaltkanalsystemen konzentriert. Diese ermöglichen aufgrund ihrer geringen Baugröße, daß sehr viele Anspritzpunkte, und damit Kavitäten, auf kleinstem Raum eingesetzt werden können.

Durch diese Technologie kann man auch auf kleinen Spritzgießmaschinen qualitativ absolut hochwertige Artikel in großer Stückzahl herstellen, ohne daß ein Anguß separiert werden muß.

Wenn solche Kaltkanalsysteme eingesetzt werden, ist eine exakte Trennung der Temperaturen zwischen heißer Kavität und gekühltem Kaltkanal notwendig. Falls dies nicht der Fall ist, kann das Material bei zu heißem Kaltkanal schon mit der Vulkanisation beginnen, oder es wird bei zu starker Kühlung dem heißen Werkzeug soviel Wärme im Bereich des Anschnitts entzogen, daß der Flüssigsilikonkautschuk an diesem Punkt nicht ausreichend vernetzt. Wenn der Artikel über einen konventionellen Anguß wie Tunnel- oder Schirmanguß angespritzt werden soll, sollte man immer mit kleinen Durchmessern beginnen, da das extrem niederviskose Material in diesen Bereichen sehr leicht fließen kann. Der Durchmesser eines Anschnittes liegt in etwa bei 0,2 - 0,5 mm. Wichtig ist es, die Auslegung des gesamten Angußsystems so zu balancieren, daß alle Kavitäten gleichmäßig gefüllt werden. Dies kann man gut durch eine Füllstudie oder bereits bei der Entwicklung mit Simulationsprogrammen kontrollieren und optimieren.

Dadurch, daß vulkanisierter Flüssigsilikonkautschuk auf metallischen Oberflächen haftet und die Formfestigkeit durch

die Flexibilität relativ gering ist, ist das Entformen von spritzgegossenen Artikeln nicht ganz einfach.

SILASTIC Flüssigsilikonkautschuk hat auch bei hohen Temperaturen eine gute Weiterreißfestigkeit und ermöglicht so, daß auch Formteile mit stärkeren Hinterschneidungen leicht und ohne Beschädigung entformt werden können.

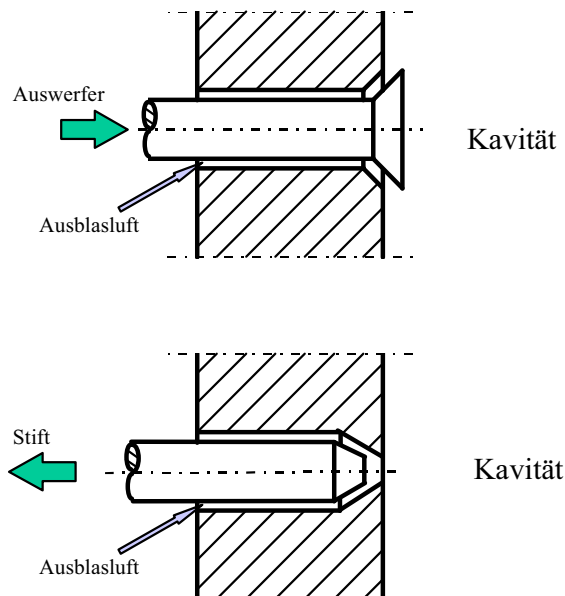
Die am häufigsten angewandten Technologien zur Entformung sind:

- Abstreiferplatte
- Auswerferstifte
- Luft zum Abblasen
- Bürsten
- Abdrückvorrichtung
- Entnahmevorrichtungen wie Roboter oder Greifarm

Wenn Auswerfer eingesetzt werden, muß auch hier auf exakte Einhaltung von Toleranzen geachtet werden. Ist das Spiel zwischen Auswerfer und Hülse etwas zu groß oder mit der Zeit durch Verschleiß vergrößert worden, ist auch hier mit Gratbildung zu rechnen.

Gute Ergebnisse werden mit pilzförmigen oder konischen Auswerferstiften erzielt, wobei eine Abdichtung durch erhöhte Flächenpressung begünstigt wird.

Auswerfer pilzförmig und konisch:



Werkzeugstahl

- Aufspannplatten werden aus unlegiertem Werkzeugstahl gefertigt.

Werkstoff-Nr.: 1.1730

DIN-Bezeichnung: C 45 W

- Formplatten, bei denen die Temperatur etwa 170 - 210°C

Schon bei der Entwicklung der Form für höher abrasive Materialien ist darauf zu achten, daß Bereiche, die einem höheren Verschleiß ausgesetzt sind, so ausgelegt werden, daß man partiell Bauteile austauschen kann ohne die gesamte Spritzgußform ersetzen zu müssen.

beträgt, sollten aus vorvergütetem Werkzeugstahl sein.

Werkstoff-Nr.: 1.2312

DIN-Bezeichnung: 40 CrMnMoS 8 6

- Formeinsätze die Kavitäten beinhalten, werden vorzugsweise aus Warmarbeitsstahl hergestellt, später gehärtet und gegebenenfalls nitriert.

Werkstoff-Nr.: 1.2343

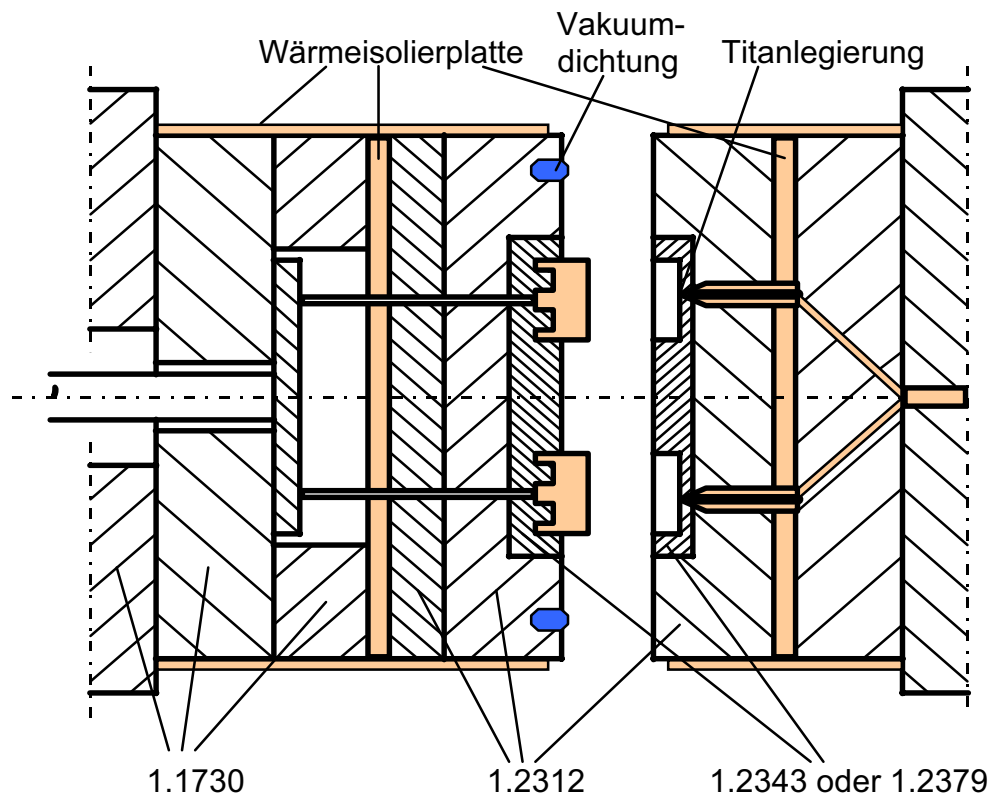
DIN-Bezeichnung: X 38 CrMoV 5 1

- Für hochgefüllte LSR, ölbeständige Typen, empfiehlt es sich, noch härtere Materialien wie hochlegierten Chromstahl oder speziell für diese Anwendung hin entwickelte pulvermetallurgische Werkstoffe zu verwenden.

Werkstoff-Nr.: 1.2379

DIN-Bezeichnung: X 155 CrVMo 12 1

Schema eines LSR Spritzgießwerkzeugs mit Kaltkanal:



Oberflächenbeschaffenheit

Die Oberfläche der Formnester hat verschiedene Einflüsse auf den Prozeß:

- Das Formteil dupliziert genau die Oberfläche des Stahls, wodurch verschiedene optische Anforderungen zu erfüllen sind. Um transparente Artikel herstellen zu können, muß

Oberflächenrauigkeit:

Erodieren:
0,5 - 3,5 μ Ra

Schleifen, Polieren:
0,05 - 1 μ Ra

**Werkzeug-
beheizung**

**Erforderliche
Heizleistung:**
 \approx 50 W/kg



- ein polierter Stahl eingesetzt werden.
- Eine erodierte Oberfläche bietet normalerweise weniger Haftung zwischen LSR und Form als eine polierte Oberfläche. So kann eine Entformung gezielt begünstigt werden.
- Titan/Nickel oberflächenbehandelter Stahl hat eine sehr hohe Verschleißfestigkeit.
- PTFE/Nickel ermöglicht eine leichtere Entformung der Formteile.

Vorzugsweise werden Spritzgießformen elektrisch durch den Einsatz von Heizpatronen, -bändern oder -platten beheizt. Wichtig ist hier eine möglichst homogene Temperaturverteilung, um an allen Stellen gleiche thermische Bedingungen für den Flüssigsiliconkautschuk zu erhalten. Bei größeren Formen ist eine Temperierung durch Öl vorzuziehen, da so eine gleichmäßigere Temperaturführung einfacher erreicht werden kann.

Es empfiehlt sich, die Form außen mit Wärmeisolierplatten zu verkleiden, da so die Verluste verringert werden.

Unbeheizte Formkerne können durch zu lange Pausenzeiten oder durch die Abblasluft starken Temperaturschwankungen ausgesetzt sein. Wenn hier die Temperatur zu stark absinkt, vernetzt das Material an dieser Stelle deutlich langsamer, so daß es zu Entformungsschwierigkeiten durch klebenden LSR kommen kann.

Heizpatronen sollen einen so großen Abstand zur Trennfläche haben, daß sie durch ihre Ausdehnung beim Heizen keinen Verzug oder Verformungen der Platten verursachen. Diese unebenen Platten können einen gratfreien Prozeß unterbinden.

Wenn die Form mit einem Kaltkanalsystem ausgerüstet ist, muß natürlich für eine exakte Trennung zwischen heißer und kalter Form gesorgt werden. Hier können auch spezielle Titanlegierungen wie **3.7165 (Ti Al 6 V4)** eingesetzt werden, da diese eine deutlich geringere Wärmeleitfähigkeit als andere Stähle haben.

Bei Formen die komplett geheizt werden, sollten Wärmeisolierplatten zwischen Form und Maschinenaufspannplatten gesetzt werden, um so möglichst wenig Wärmeverlust zu erhalten.

AUSWAHL DER MASCHINE

Zuhaltekraft der Spritzgießmaschine

$$A_{\text{Kreis}} = \frac{D^2 \pi}{4}$$

Bei der Maschinenauswahl muß die benötigte Zuhaltekraft bestimmt werden. Durch die Ausdehnung des Silicons in der heißen Form kann der Druck in der Kavität auf Werte bis zu 400 bar ansteigen. Die Kraft, mit der die Form aufgedrückt wird, berechnet man indem man die projizierte Fläche aller Formteile mit dem Forminnendruck multipliziert.

Beispiel: 6 Kavitäten Babysauger-Form

Durchmesser Babysauger = 39 mm

projizierte Fläche $A = 6 \times (39/2)^2 = 7167,54 \text{ mm}^2$

Innendruck $\leq 400 \text{ bar}$

$400 \text{ bar} = 40 \text{ N/mm}^2$

$F = p \times A = 40 \text{ N/mm}^2 \times 7167,54 \text{ mm}^2$

F = 286.702 N Zuhaltekraft sind erforderlich.

Das entspricht einer Spritzgießmaschine mit der Bezeichnung Zuhaltekraft > **290 kN** oder auch etwa **30 Tonnen**.

Spritzeinheit



Der Schneckendurchmesser der Spritzeinheit sollte so gewählt werden, daß der Hub der Schnecke zwischen 1 und 5D liegt. So kann eine gute Prozeßfähigkeit durch die Maschinensteuerung gewährleistet werden. Bei einem Hub von weniger als 1 D wird die Kontrolle der Bewegungen für die Steuerung der Maschine ungenauer und die Mischfunktion der Schnecke kann nicht voll zur Geltung kommen.

Pumpstation

Es gibt verschiedene Arten von Pumpstationen. Als Hauptunterscheidungsmerkmal sind der hydraulische und der pneumatische Antrieb zu sehen. Wahlweise kann die Pumpanlage aus standardisierten 20 Liter Hobbocks oder aus 200 Liter Fässern fördern.

Sonstige Spritzgießverfahren

Zweikomponenten-Spritzgießen

Viele Spritzgußartikel aus *SILASTIC* LSR werden für ihren Einsatzzweck nach der Fertigung erst in einem zusätzlichen Montageschritt ihrem Bestimmungsort zugeführt. In einigen Fällen kann aber der Flüssigsilikonkautschuk direkt an seiner für die Anwendung erforderlichen Position gefertigt werden. So soll zum Beispiel ein Gehäuse aus Polyamid eine Dichtung aus Siliconkautschuk erhalten. Die bisher eingesetzte Methode war früher, daß man beide Formteile, Gehäuse und Dichtung, auf separaten Maschinen fertigt und später in einem Montageschritt zusammenfügt. Das Ziel, solche Produkte kostengünstiger, qualitativ hochwertiger und effizienter herzustellen, wird durch Zweikomponenten-Spritzguß erreicht.

Hierzu werden überwiegend zwei Verfahren genutzt:

Zwei separate Spritzgießmaschinen

Zuerst wird der Grundkörper aus Thermoplast auf einer Standard-Spritzgießmaschine gefertigt. Die Entformung dieses Gehäuses erfolgt, je nach Automatisierung, per Entnahmeeinheit oder manuell. Jetzt wird das Thermoplastteil in die Form der in unmittelbarer Nähe stehenden Flüssigsiliconspritzgießmaschine eingesetzt. Während des nun folgenden Spritzgießprozesses stellt das Thermoplastbauteil einen Teil der LSR-Kavität dar. Die äußere Kontur der LSR-Dichtung wird durch die eigentliche Spritzgießform gegeben.

Zeitgleich mit dem Spritzgießen des Flüssigsilikonkautschuks startet die Thermoplastspritzgießmaschine den nächsten Zyklus.

Vorteil dieses Verfahrens ist, daß man beide Maschinen für andere Aufträge unabhängig betreiben kann. Außerdem können die thermischen Verhältnisse in den beiden Formen besser gesteuert werden. So beträgt die Formtemperatur bei technischen Thermoplasten wie glasfaserverstärktem Polyamid *PA-GF* oder Polybutylentheraphthalat *PBT* etwa 70 - 110°C (bitte Herstellerhinweise beachten). Die Restwärme im Spritzgußteil reicht dann aus, um eine ausreichend schnelle Vernetzung in der heißen (170 - 190°C) LSR-Form zu gewährleisten.

Die Verbindung zwischen den beiden Materialien kann mechanisch durch Hinterschneidungen, oder chemisch mittels Primer erfolgen. In einigen Fällen kann auch selbsthaftender LSR verwendet werden.

Zweikomponenten-Spritzgießmaschine

Eine andere Variante ist der Gebrauch einer Zweikomponenten-Spritzgießmaschine. Hier werden beide Materialien auf einer Maschine mit zwei Spritzeinheiten verarbeitet. Die Maschine weist nur eine Form auf, die die Kavitäten für den Thermoplast und für den Flüssigsiliconkautschuk enthält.

Die Bewegung der Formteile zu den jeweiligen Stationen erfolgt entweder durch eine rotierende Formplatte, oder es wird eine zusätzliche Formhälfte über einen Drehtisch beziehungsweise einen Schiebetisch bewegt.

Schwierig ist hierbei, den optimalen Temperaturverlauf für die jeweiligen Materialien zu wählen. Einerseits kann man die Temperatur in der Form stark variieren: kalt für den Thermoplast und heiß für den LSR. Dies ist aber nur durch großen werkzeugtechnischen Aufwand zu verwirklichen.

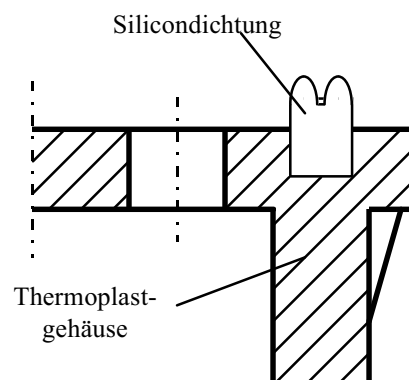
Man kann die Temperatur auch so wählen, daß einerseits der Thermoplast genügend abkühlt, um bei der Entformung seine gewünschte Form beizubehalten, und daß der LSR andererseits genügend hohe Temperaturen zur Vulkanisation erfährt.

Erfahrungswerte zeigen in einem Formtemperaturbereich von **110 - 130°C** gute Ergebnisse.

Bei dieser Variante sollte aber aufgrund der benötigten höheren Vernetzungsgeschwindigkeit ein LSR vom Typ *SILASTIC* 9780/xx E eingesetzt werden, da diese auch bei niedrigeren Formtemperaturen eine genügend schnelle Vernetzung aufweist.

Natürlich können mit diesen oder ähnlichen Verfahren auch andere Verbundartikel hergestellt werden:

- Silicon mit Silicon für mehrfarbige Artikel
- Elektrisch leitfähiges Silicon in Verbindung mit elektrisch isolierendem Silicon für Anwendungen in der Hochspannungstechnik
- Spritzen von Silicondichtungen auf Aluminiumgehäuse - **MIPG (Mold In Place Gasket)**



Spritzgießen von einkomponentigem HTV *SILASTIC*[®] *RapidCure*

Der Verbund von verschiedenen Siliconen, wie in der Hochspannungstechnik, hat den Vorteil, daß die Kontaktstelle der zwei Materialien nahezu die gleiche Festigkeit wie die Grundmaterialien aufweist.

Das älteste Verfahren zur Herstellung von Siliconkautschukformteilen ist das auch heute noch am weitesten verbreitete Spritzgießen von Feststoffsilicon "HTV".

Der Siliconkautschuk wird als Endlos-Strang oder in Blockform über Stopfvorrichtungen der Spritzeinheit zugeführt.

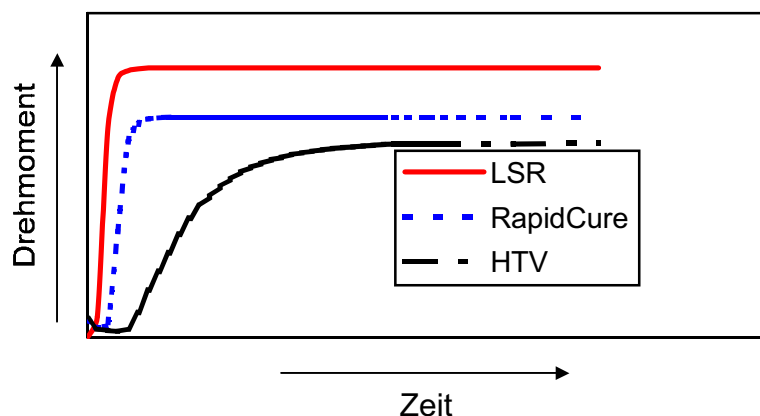
Als großer Vorteil gegenüber dem LSR-Verfahren steht hier die Flexibilität der Material-Endeigenschaften. Man kann auch für kleine Stückzahlen eine speziell auf das Anforderungsprofil entwickelte Materialformulierung einsetzen.

Der große Nachteil der geringeren Produktivität, bedingt durch die deutlich langsamere Vernetzungsgeschwindigkeit des durch Peroxid vernetzenden Materials, kann durch neu entwickelte Produkte ausgeglichen werden.

Durch die Verwendung eines Platin-Katalysierten Additions-Vernetzungssystems wird eine im Vergleich zu Peroxid vernetzenden Materialien bis zu 70 % schnellere Vernetzung ermöglicht.

Mit *SILASTIC RapidCure*, das als lagerstabile, 1-Komponentige Fertigmischung geliefert wird, ergibt sich die Möglichkeit, kürzere Vulkanisationszeiten und eine höhere Ausstoßleistung als mit Peroxid vernetzten Mischungen zu erreichen.

Vernetzung von *SILASTIC* Siliconkautschuk



Gemessen mit Monsanto MDR bei 170°C

RapidCure ist aufgrund seiner Vernetzungscharakteristik auch bei verkürzter Vulkanisationsdauer weniger empfindlich

gegen Schwankungen der Formtemperatur als peroxidisch vernetzende Materialien. Daher werden bleibende Deformationen durch die Entformung auch bei abgesenkter Temperatur vermindert, so daß ein enges Toleranzfeld eingehalten werden kann.

Zusätzlich tritt bei Additionsmaterialien keine Sauerstoff-Inhibierung ein. Deshalb lassen RapidCure Produkte sich besser entformen und zeigen trockenere Oberflächen als Peroxid-Materialien. Genau wie bei LSR setzt RapidCure während der Verarbeitung keine toxischen Peroxid-Spaltprodukte frei. Auch die für Peroxid typische Geruchsbelästigung entfällt bei der Verarbeitung.

Verarbeitung und Formenbau von HTV-Siliconen ist überwiegend mit den Richtlinien des Flüssigsilicon Spritzgießens zu vergleichen.

Die Spritzeinheit ist speziell für diese Materialien konzipiert. Verschiedenste Möglichkeiten sind durch die Maschinenbauer auch für Sonderanwendungen entwickelt worden.

Die Gemeinsamkeit der verschiedenen Konzepte besteht darin, daß die Spritzschnecke über eine Kompression verfügt, und die Rückstromsperrn denen der Thermoplastschnecken ähnlich sind.

Wegen der höheren Viskosität von HTV sollten die Abmessungen für die Verteilerkanäle und die Anspritzpunkte etwas größer ausgelegt werden. Ebenso neigen diese höherviskosen Materialien nicht so stark zur Gratbildung, wodurch die Entlüftungskanäle bis zu 0,01 mm tief sein können.

In der Produktion ist die Vernetzungszeit neben der Formtemperatur auch von den Teiledimensionen abhängig:

- Für einen HTV mit peroxidischer Vernetzung wird mit etwa **15 sec/mm** Vernetzungszeit gerechnet
- Für einen Artikel aus additionsvernetzendem RapidCure ist ein Wert von **5 - 7 sec/mm** einzuplanen

Anfahren der Maschine

Temperatur- vorwahl

Bevor das Spritzgießwerkzeug in Betrieb genommen wird, müssen alle Spuren von Formschutzspray oder anderen Oxidationsschutzbehandlungen gründlich entfernt werden.

Die Spritzeinheit und der Kaltkanal sollten auf etwa 20 - 25°C gekühlt werden.

Erfahrungsgemäß sollte die Werkzeugtemperatur zur ersten Inbetriebnahme auf **180 - 190°C** gestellt werden.

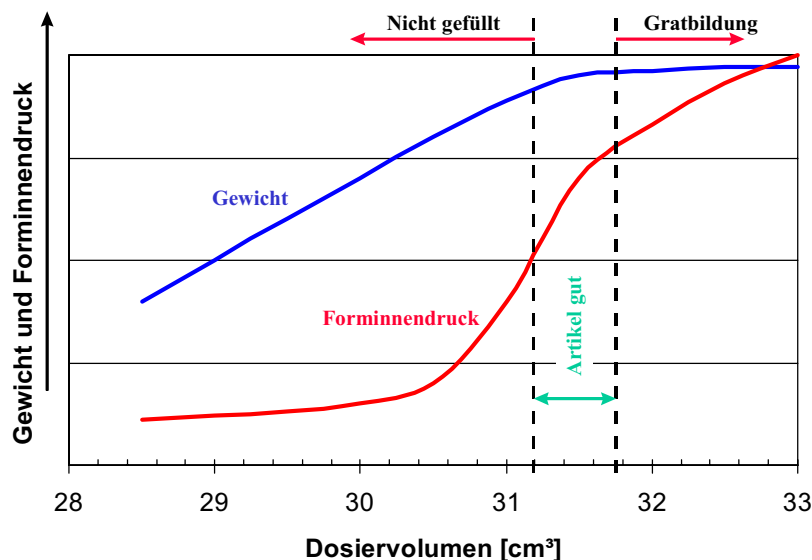
Bevor man die ersten Zyklen startet, sollte die Temperatur über einen Zeitraum von etwa 10 - 20 Minuten im Sollbereich liegen. Wird die Form während der Aufheizphase geschlossen gehalten, sind die Wärmeverluste in der Trennebene deutlich geringer, so daß die Temperatur der Kavitätenoberflächen gleichmäßig mit der Formtemperatur ansteigt.

So wird sichergestellt, daß alle auch nicht primär beheizten Formbereiche die gewünschte Temperatur erhalten.

Bei einigen Maschinen kann sich der Nullpunkt der Werkzeugposition durch die Wärmeausdehnung verändern. Deswegen ist es am sinnvollsten, den Nullpunkt erst bei Betriebstemperatur einzustellen bzw. noch einmal zu überprüfen.

Spritzvolumen und Einspritz- geschwindigkeit

Wenn es die Entformung ermöglicht, sollte auf jeden Fall versucht werden, den ersten Einspritzvorgang zu unterfüllen. Hierdurch kann man ein Überspritzen vermeiden. In den folgenden Zyklen wird dann das Dosiervolumen stufenweise angehoben.



Umschaltpunkt und Nachdruck

Optimale Ergebnisse werden erzielt, wenn man die Kavitäten exakt unternormmetrisch füllt (98 - 99 %).

Die Wärmeausdehnung des Flüssigsilikonkautschuks füllt die Kavität dann während der Vernetzungsphase ganz aus.

Überprüft werden kann dies z. B. durch Wiegen der Formteile.

Auch die Einspritzparameter sind zunächst möglichst niedrig zu halten, um ein Überspritzen zu verhindern.

Unter den Produktionsbedingungen sind dann die Einspritzgeschwindigkeit und der maximale Einspritzdruck so zu wählen, daß man die Formnester in einer Zeit von etwa **0,5 - 3 Sekunden** füllt.

Zum Ende der Füllphase sollte die Einspritzgeschwindigkeit reduziert werden, um ein Entweichen der in der Kavität eingeschlossenen Luft zu ermöglichen.

Der Nachdruck sorgt beim Spritzgießen von Flüssigsilikonkautschuken dafür, daß kein Material durch den Anspritzpunkt aus der Kavität zurück gedrückt wird. Hierzu reichen Drücke von **50 -200 bar** (spezifischer Materialdruck) aus.

Die Nachdruckzeit richtet sich hauptsächlich nach der Art und Geometrie des Anschnittes. Wenn man mit einer Nadelverschlußdüse arbeitet, kann die Nachdruckzeit oft bei unter 1 Sekunde liegen, da das Material durch den Nadelverschluß an der Entladung gehindert wird.

Bei offenen Kaltkanälen muß der Nachdruck statt dessen solange aufrecht erhalten werden, bis der LSR im Anschnittbereich so vulkanisiert ist, daß kein Material mehr austreten kann. Die Nachdruckzeit hängt stark von der Anschnittgeometrie ab und liegt üblicherweise bei **0,5 - 4 Sekunden**.

Die Umschaltung von Einspritzen auf Nachdruck sollte so gewählt werden, daß der Nachdruck erst sehr spät einsetzt und die Kavität auch noch ein wenig füllt. Dies erleichtert ein gratfreies Spritzen.

Vulkanisationszeit

Die Vernetzungszeit sollte für die ersten Versuche so gewählt werden, daß der LSR sicher vernetzt und entformt werden kann, ohne daß das Formteil beim Entformen zerstört wird oder Reste in der Kavität zurückbleiben.

Als Richtwert kann man mit einer Vulkanisationszeit von **3 - 5 sec/mm** kalkulieren.

Anschließend kann nun die Vernetzungszeit soweit reduziert werden bis Probleme wie Verformung, Einreißen oder Kleben

Entformung

auftreten.

Jetzt sollte man die Vernetzungszeit wieder um etwa 5 - 10 % anheben, um einen sicheren Prozeß zu gewährleisten.

Zu Produktionsbeginn ist die Entformbarkeit der Artikel teilweise etwas schlechter. Sie haften recht stark auf dem Stahl. Diese Entformbarkeit wird aber nach einigen Zyklen deutlich verbessert, da sich eine Schicht aus Siloxanen, die dem Flüssigsilikonkautschuk entweichen, auf dem Formstahl absetzt.

Man kann auch **siliconfreies Trennspray** als Entformungshilfe für die ersten Maschinenzyklen verwenden. Als günstig und auch ökonomisch absolut unbedenklich hat sich ein Gemisch aus Wasser und Seifenlauge bewährt, welches man mit einem Lappen aufträgt oder mit Hilfe eines Zerstäubers problemlos dünn aufsprühen kann.

Produktionsende und Reinigung

Wenn die Anlage nicht länger als drei Tage stillstehen soll, z. B. über das Wochenende, müssen keine besonderen Maßnahmen getroffen werden, da in dieser Zeit der gemischte Flüssigsilikonkautschuk bei einer gekühlten Spritzeinheit praktisch nicht zu vulkanisieren beginnt.

Von Dow Corning wird garantiert, daß das vermischte Material über einen Zeitraum von mindestens drei Tagen bei einer Temperatur unter 35°C nicht zu vulkanisieren beginnt.

Wird die Anlage über einen längeren Zeitraum hinweg nicht genutzt, sollte man den Mischer und die Spritzeinheit sowie den Kaltkanal mit der A-Komponente ausspülen.

Man kann alle Teile die vermischtes Material führen auch in einer Tiefkühltruhe aufbewahren, um so eine Vernetzung auch über längere Zeit zu unterbinden.

Auch wenn die Produktion nahezu ohne Unterbrechung läuft, sollten doch etwa alle sechs Monate der Mischer sowie die Spritzeinheit gründlich gereinigt werden.

Dadurch kann man verhindern, daß vernetzte Bereiche sich lösen und so den Kaltkanal verstopfen oder zu Fehlstellen im Artikel führen.

Wenn bei Produktionsstop die Heizungen ausgeschaltet werden, müssen die Kühlungen für den Kaltkanal und für die Verschlußdüse der Spritzeinheit noch nachlaufen. So wird verhindert, daß die LSR führenden Bereiche durch abstrahlende Wärme erhitzt werden und dadurch bedingt die Topfzeit verkürzt wird.

STÖRUNGSSUCHE BEIM SPRITZGIEßEN

1) Formteil nicht vollständig gefüllt

- ☞ Nicht gefülltes Werkzeug
- ☞ Unebene Oberfläche
- ☞ Gewicht zu niedrig



Ursache	Abhilfe
a. Einspritzgeschwindigkeit oder Spritzdruck nicht optimal	<ul style="list-style-type: none"> • Einspritzgeschwindigkeit und eventuell Einspritzdruck erhöhen
b. Dosierung unzureichend	<ul style="list-style-type: none"> • Dosiervolumen vergrößern
c. Entlüftung nicht ausreichend	<ul style="list-style-type: none"> • Siehe Punkt 3) <i>Blasen/Lufteinschlüsse</i>
d. Werkzeugtemperatur zu hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Werkzeugtemperatur herabsetzen
e. Umschaltpunkt und Nachdruck nicht richtig	<ul style="list-style-type: none"> • Umschaltpunkt später setzen • Nachdruck erhöhen
f. Maschinenfehler	<ul style="list-style-type: none"> • Schneckenspiel und Rückstromsperre überprüfen
g. Kaltkanal- oder Angußabmessungen fehlerhaft	<ul style="list-style-type: none"> • Angußsystem auf Verschmutzung oder anvernetzte Bereiche überprüfen • Dimensionen der Angüsse überprüfen und ggf. vergrößern
h. Ungleichmäßige Füllung der Kavitäten	<ul style="list-style-type: none"> • Angußabmessungen optimieren
i. Vorvernetzte Bereiche in der Spritzeinheit oder im Mischer	<ul style="list-style-type: none"> • Reinigen der materialführenden Elemente

2) Gratbildung am Formteil

- ☞ Siliconfilm zwischen den Trennlinien



Ursache	Abhilfe
a. Dosierung zu hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Dosiervolumen verringern und auf Gleichmäßigkeit hin überprüfen
b. Einspritzgeschwindigkeit oder Spritzdruck nicht optimal	<ul style="list-style-type: none"> • Einspritzgeschwindigkeit und eventuell Einspritzdruck verringern
c. Umschaltpunkt und Nachdruck anpassen	<ul style="list-style-type: none"> • Umschaltpunkt früher setzen und Nachdruck herabsetzen
d. Entlüftungskanäle zu tief	<ul style="list-style-type: none"> • Verkleinern der Entlüftungskanäle
e. Werkzeugtemperatur zu kalt	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatur erhöhen sowie auf Homogenität der Temperatur achten • Heizung und Thermofühler überprüfen
f. Werkzeug beschädigt oder verschmutzt	<ul style="list-style-type: none"> • Trennflächen und bewegliche Teile auf Verschleiß und Verschmutzung überprüfen und reparieren bzw. überarbeiten • Trennfläche reinigen
g. Zuhaltkraft nicht ausreichend	<ul style="list-style-type: none"> • Zuhaltkraft erhöhen oder wenn nötig auf größere Maschine wechseln

3) Blasen/Lufteinschlüsse

-  Im Formteil auftretende Blasen
-  Weißer Rand

Ursache	Abhilfe
a) Einspritzgeschwindigkeit oder Spritzdruck zu hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Einspritzgeschwindigkeit und eventuell Einspritzdruck verringern
b) Temperatur des Werkzeugs zu hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Werkzeugtemperatur reduzieren
c) Entlüftungskanäle verschmutzt oder nicht ausreichend dimensioniert	<ul style="list-style-type: none"> • Form reinigen • Entlüftungskanäle vertiefen • Zuhaltkraft reduzieren
d) Vakuum nicht ausreichend	<ul style="list-style-type: none"> • Vakuumpumpe prüfen • Dichtung auf schadhafte Stellen kontrollieren • Zeit zum Vakuumaufbau verlängern
e) Luft in Pumpanlage	<ul style="list-style-type: none"> • Entlüften der Anlage • Dichtungen überprüfen
f) Ungleichmäßige Füllung	<ul style="list-style-type: none"> • Anmaßmessungen optimieren

4) Flüssigsiliconkautschuk vernetzt nicht ausreichend

-  Artikel kleben in Kavität
-  Formteile fühlen sich klebrig an

Ursache	Abhilfe
a) Vernetzungszeit zu kurz	<ul style="list-style-type: none"> • Verlängern der Vernetzungszeit
b) Werkzeugtemperatur zu niedrig	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatur erhöhen • Heizungen überprüfen • Homogenität der Temperatur prüfen • Pausenzeit verkürzen
c) Mischungsverhältnis nicht 1:1	<ul style="list-style-type: none"> • Pumpanlage auf Druckschwankungen hin überprüfen • Materialzufuhr auf eventuell anvernetzte Bereiche im Mischer oder in der Schnecke überprüfen
d) Inhibition der Vernetzung	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherstellen, daß kein Schwefel oder Zinn die LSR-Anlage kontaminiert (oft wenn in unmittelbarer Nähe organische Kautschuke mit Schwefel vernetzt werden)

5) Scorch Anvernetzen des Materials während des Einspritzens

- ☞ Formteil weist Schlieren auf
- ☞ Stark ausgeprägte Fließlinien
- ☞ Schallplatteneffekt

Ursache	Abhilfe
a) Einspritzgeschwindigkeit oder Spritzdruck zu niedrig	<ul style="list-style-type: none"> • Einspritzgeschwindigkeit und eventuell Einspritzdruck erhöhen
b) Werkzeugtemperatur zu hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Form- und ggf. Kaltkanaltemperatur absenken

6) Vorvernetzte Partikel im Formteil

- ☞ Feste Partikel treten im Formteil auf
- ☞ Angußpfropfen erscheint im Artikel

Ursache	Abhilfe
a) Temperatur des Kaltkanals im Anschnittbereich nicht kalt genug	<ul style="list-style-type: none"> • Kühlung des Kaltkanals kontrollieren oder verbessern • Werkzeugtemperatur im Bereich der Anschnittpunkte verringern
b) Material tritt aus Anschnitt aus	<ul style="list-style-type: none"> • Dekompression des Materials im Kaltkanal bei offenem System nicht ausreichend • Verschlußnadeln haben zu viel Spiel
c) Anvernetzte Bereiche aus Mischer und Spritzeinheit werden ausgespült	<ul style="list-style-type: none"> • Materialführende Bereiche reinigen

7) Entformungsschwierigkeiten

- ☞ Formteil hängt sehr fest in Kavität
- ☞ Verteileranguß bleibt hängen oder ist schlecht vom Formteil zu trennen

Ursache	Abhilfe
a) Werkzeugtemperatur zu hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Werkzeugtemperatur herabsetzen
b) Nachdruck zu hoch und zu lang	<ul style="list-style-type: none"> • Nachdruck und Nachdruckdauer reduzieren
c) Vernetzungszeit zu lang	<ul style="list-style-type: none"> • Vulkanisationszeit verkürzen
d) Werkzeugkonstruktion nicht optimal	<ul style="list-style-type: none"> • Hinterschneidungen optimieren • Formoberflächen behandeln, bzw. Rauigkeit anpassen • Auswerferprinzip - Stifte, Büchsen, Platten - mit Ausblasvorrichtung und/oder Bürsten kombinieren

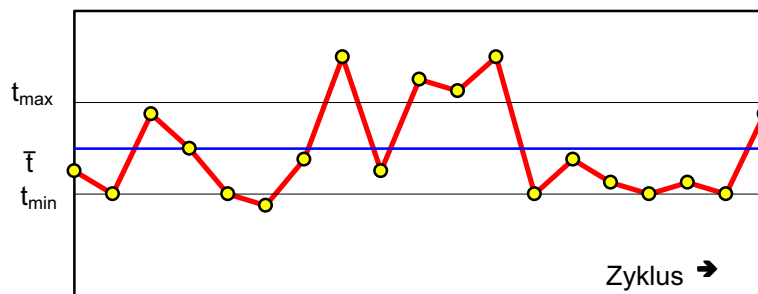
8) Artikel ist verformt

- ☞ Starke Deformation nach dem Entformen
- ☞ Artikelmaße nicht nach Vorgabe

Ursache	Abhilfe
a) Vernetzung nicht ausreichend	<ul style="list-style-type: none"> • Vulkanisationszeit verlängern • Temperaturführung der Form kontrollieren und optimieren
b) Schrumpfung nicht wie gefordert	<ul style="list-style-type: none"> • Forminnendruck anpassen • Temperaturführung prüfen

9) Unregelmäßige Zykluszeiten

- ☞ Variierende Zykluszeit während der Fertigung



Ursache	Abhilfe
a) Dosierzeit schwankt und ist teilweise länger als die Vernetzungszeit	<ul style="list-style-type: none"> • Druck in der Pumpanlage gleichmäßig einstellen • Im Mischer anvulkanisiertes Material entfernen • Drehzahl erhöhen • Staudruck anpassen • Hydrauliksystem der Maschine prüfen • Rückstromsperre prüfen
b) Einspritzzeit ungleichmäßig	<ul style="list-style-type: none"> • Einspritzparameter kontrollieren • Temperatur im Kaltkanal absenken • Einspritzprozeß auf gleichmäßigen Füllvorgang der Kavitäten kontrollieren • Rückstromsperre prüfen

**10) Potlife - Topfzeit
Material vernetzt im Spritzaggregat**

- ☞ Anlaufschwierigkeiten nach längerem Maschinenstillstand
- ☞ Bei Produktionsbeginn längere Einspritzzeiten

Ursache	Abhilfe
a) Material in Mischer und Spritzeinheit beginnt zu vernetzen	<ul style="list-style-type: none"> • Kühlung der Spritzeinheit überprüfen • Vor längerem Stillstand (länger als drei Tage) Anlage mit A-Komponente spülen • Spritzaggregat auch bei kurzen Pausen von der heißen Form abfahren • Kühlung des Kaltkanals nach Abschalten der Werkzeugheizung nachlaufen lassen

Ihre weltweiten Kontakte

Verkaufsbüros, Produktionsstätten sowie Entwicklungs-
labors und Technologielifers in aller Welt. Sie finden die
Telefonnummern im Internet unter www.dowcorning.com
oder, indem Sie eine der untenstehenden Zentralen anrufen.

Nordamerikanische Firmenzentrale

Dow Corning Corporation
Phone: +1 989 496 4000

Brasilien

Dow Corning do Brasil Ltda.
Phone: +55 11 3759 4300

Mexiko

Dow Corning de Mexico S.A. de C.V.
Phone: +525 327 1300

Europäische Firmenzentrale

Dow Corning SA
Business & Technology Centre
Phone: +32 64 888 000

Firmenzentrale für Asien

Dow Corning Toray Silicone Co., Ltd.
Phone: +81 3 3287 1011

HAFTUNGSBESCHRÄNKUNG - BITTE SORGFÄLTIG LESEN

Die in diesem Dokument enthaltenen Angaben werden in gutem Glauben als wahrheitsgetreue Informationen übermittelt. Da Dow Corning keinen Einfluss auf die Verwendungsart der Produkte und auf die Bedingungen hat, unter denen sie eingesetzt werden, ist trotz dieser Produktinformationen vor dem Einsatz der Produkte unbedingt die Durchführung von Tests erforderlich, um sicherzustellen, dass die Produkte von Dow Corning im Hinblick auf die Leistung, Wirkung und Sicherheit für die spezifische Verwendung durch den Kunden geeignet sind. Vorschläge zur Produktverwendung sind nicht als Verleitung zu Patentrechtsverletzungen zu verstehen. Dow Corning gewährleistet nur, dass die Produkte der zur Zeit der Lieferung aktuellen Produktbeschreibung von Dow Corning entsprechen. Gewährleistungsansprüche des Kunden und die entsprechenden Gewährleistungspflichten von Dow Corning bei einer Garantieverletzung beschränken sich auf die Lieferung von Ersatz oder die Rückerstattung des Kaufpreises für ein Produkt, das der Garantie nicht entspricht.

JEDE WEITERE AUSDRÜCKLICHE ODER IMPLIZIERTE GEWÄHRLEISTUNG DURCH DOW CORNING, EINSCHLIESSLICH DER VERKÄUFLICHKEIT UND VERWENDUNGSEIGNUNG, IST AUSGESCHLOSSEN. DOW CORNING ÜBERNIMMT KEINE HAFTUNG FÜR ZUFALLS- ODER FOLGESCHÄDEN.

Wir helfen ihnen die zukunft zu gestalten ist ein Warenzeichen der Dow Corning Corporation.
Dow Corning und *Silastic* sind eingetragene Warenzeichen der Dow Corning Corporation.
Abdeckungfoto - AV02496

Ref no. 45-1014B-03

DOW CORNING

*Wir helfen ihnen die
zukunft zu gestalten.*TM

www.dowcorning.com

