Das Einbetten von Verbindungselementen mit Ultraschall

Technische Thermoplaste von Covestro
Verarbeitungs- und Konstruktionsmerkmale

Im Gegensatz zum nicht wieder lösbaren Ultraschall-Schweißen und -Nieten werden mit in Kunststoff-Formteile eingebetteten Innen- und Außengewindeteilen aus Metall wieder lösbare Verbindungen hergestellt. In Abhängigkeit von der Kunststoff-Formgebung, den Spritzparametern und den konstruktiven Merkmalen der Gewindebuchsenausführungen und Stehbolzen können jederzeit wieder lösbare Verbindungen hoher Torsions- und Ausreißfestigkeit erzielt werden.

Es gibt mehrere Möglichkeiten, Verbindungselemente mit Innen- und Außengewinde in thermoplastische Kunststoffteile zu integrieren, um jederzeit wieder lösbare Verbindungen herzustellen. Im verfahrenstechnischen Wettbewerb stehen einander gegenüber:

– das Umspritzen direkt bei der Formteilherstellung
– das nachträgliche Einbetten mithilfe von Wärme und Druck
– das mechanische Eindrehen
– das Einpressen mit anschließendem Aufweiten der Einsätze beim Eindrehen der Schraube
– das Einbetten mit Ultraschall

Ultraschallwellen als mechanische Wechselschwingungen von etwa 20 kHz werden dazu verwendet, das einzubettende Gewindeteil aus Metall über eine Sonotrode in Resonanz zu versetzen. Durch die entstehende Grenzflächenreibung Metall/Kunststoff bei definiertem Anpressdruck wird der Kunststoff an der Berührungsfläche erwärmt und dadurch plastisch, sodass das Metallteil unter Fortsetzung des Druckes in das Kunststoff-Formteil einsinken kann. Dabei umfließt die aufgeschmolzene Masse die Hinterschneidungen des Gewindeeinsatzes und verankert diesen beim unmittelbar nachfolgenden Erstarrungsprozess. Der beim Einbetten mit Ultraschall notwendige Druck ist in Abhängigkeit von den Abmessungen des Gewindeteils (Durchmesser und Länge) sowie vom Schmelzpunkt bzw. Schmelzbereich des thermoplastischen Kunststoffes vorher einzustellen. Bei Metallteilen mit etwa 5 mm Durchmesser sollte nur mit mittlerer Einsinkgeschwindigkeit gefahren werden.

Die Vorteile dieser Einbettmethode gegenüber dem Umspritzen beim Spritzgießen der Formteile sind:

– schnelles, sauberes, spannungsarmes und wirtschaftliches Einbetten
– kurze Taktzeiten beim Spritzgießen, da kein zeitraubendes Einsetzen der Gewindeeinsätze mehr erforderlich ist
– kein Vorwärmen der Metallteile notwendig, wie beim Umspritzen mit einigen Thermoplasten unumgänglich
– kein Beschädigen der Spritzgussformen bei unsachgemäßem Positionieren der Gewindeeinsätze bzw. Stehbolzen

Es besteht auch die Möglichkeit, mit Ultraschall wie beim Umspritzen in einem Arbeitsgang mehrere Einsätze gleichzeitig einzubringen. Das nachträgliche Einbetten von Gewindeteilen kann in alle Thermoplaste vorgenommen werden, auch in jene, die schlecht nach dem US-Verfahren schweißbar sind.

Wie umfangreiche Untersuchungen nachwiesen, erfolgt das Einbetten mit Ultraschall in Etappen mit Stillstandzeiten von einigen Tausendstelsekunden, d. h., das Metallteil wird zumindest in der ersten Phase regelrecht eingehämmert. Wie bereits erwähnt wird quasi durch das Mitschwingen des Metallteils an der Berührungsfläche Metall/Kunststoff Reibungswärme erzeugt, die den Kunststoff in einer relativ dünnen Schicht zum Schmelzen bringt, sodass dieser in die Hinterschneidungen des Metallteils eindringen kann. Die Reibungswärme liegt dabei über dem Erweichungs- bzw. Schmelzbereich, sodass sich praktisch keine zusätzlichen Spannungen im Kunststoff aufbauen, sofern bestimmte Bedingungen eingehalten werden. Was ist beim Einbetten zu beachten?

Die Herstellung der Kunststoffteile

Überwiegendwerden Metallteile in „Spritzgussteile“ eingebettet. Durch die Formgebung und anschließende Abkühlung entstehen in Spritzgussteilen aus Thermoplasten Eigenspannungen. Stärker relaxierende Kunststoffe bauen diese inneren Spannungen ohne wesentliche äußere Formänderung im Laufe der Zeit ab. Schwach relaxierende Kunststoffe sind hierzu weniger in der Lage. Zu diesen gehören, wegen ihrer geringen Kriechneigung unter Spannung, eine Reihe von Konstruktionswerkstoffen, in der Literatur auch oft als „technische Kunststoffe“ bezeichnet. Bei diesen bleiben innere Spannungen weitgehend erhalten und überlagern sich unter Umständen mit den durch das Metallteil auftretenden funktionsbedingten Spannungen.

Bei Spritzgussteilen mit zu hohen inneren Spannungen kann es daher gleich nach dem Einbetten oder später zu Spannungsrissen (Crazing) kommen, vor allem, wenn die Metallteile höheren Zug-, Druck- oder Torsionsbelastungen ausgesetzt werden. Daher ist es notwendig, die für den jeweiligen Kunststofftyp empfohlenen Verarbeitungsparameter wie

– Massetemperatur
– Einspritzgeschwindigkeit
– Spritzdruck
– Nachdruck
– Werkzeugtemperatur

einzuhalten, um spannungsarme Teile zu erhalten.

Oftmals ist auch die dem eingebetteten Teil gegenüberliegende Seite optisch am Fertigteil sichtbar, z. B. bei Gehäuseteilen. Es dürfen durch die Aufnahmebohrung keine Markierungen auf der Oberfläche sichtbar werden. In diesem Fall müssen zwischen der Mindestwanddicke des Aufnahmedoms, die für die geforderte Ausreiß- bzw. Torsionsfestigkeit erforderlich ist, und der maximalen Wanddicke, die gerade noch ein markierungsfreies Spritzen zulässt, Kompromisse geschlossen werden. Tabelle 1 vermittelt Anhaltswerte zum Aufnahmedom-Wanddicken-Verhältnis verschiedener Kunststoffe. Da viele der handelsüblichen Metallbuchsen konisch sind, erfordert das oft auch konische Aufnahmebohrungen; das bedeutet, am Übergang zur Gehäusewand hat der Aufnahmedom die größte Wanddicke. Somit ergibt sich hier eine Querschnittsvergrößerung, die auf der gegenüberliegenden Oberfläche zu Einfallstellen in diesem Bereich infolge langsamer Abkühlung des Werkstoffes beim Spritzgießen führen kann. Auch mit etwas höherer Massetemperatur, höherem Spritz- und Nachdruck lässt sich dies meist nicht verhindern. Bei glatten bzw. hochglänzenden Oberflächen, auch bei dunkleren Farbtönen, sind diese Einfallstellen eher sichtbar als bei profilierten Flächen. Außerdem haben der Fließweg, also die Entfernung vom Anguss, und die Schmelzeviskosität Einfluss. Zu beachten ist ferner, dass der Übergang vom Dom zur Gehäusewand mit einem kleinen Radius ≥ 0,2 mm zu versehen ist. Bild 1 macht das deutlich.

Für die Anbindung des Aufnahmedomes an Sichtflächen-Rückseiten gibt es mehrere konstruktive Möglichkeiten, um sie der entsprechenden Anwendung anzupassen.

Abmessungen der Aufnahmebohrung			
Kunststoffe der Covestro Deutschland AG		Rippen-Wanddicken-Verhältnis	
		Wanddicke des Doms	Wanddicke Teil (mm)
Bayblend® Makrolon®	PC + ABS PC	1 1	2,0 – 2,5 2,0 – 2,5
Sichtbarer Einfall kann vermindert werden durch: – Höheren Nachdruck – Dome möglichst nicht in planen Bereichen anordnen – Oberflächenrauigkeit bzw. Narbung – Helle Farben – Radius ≥ 0,2 mm am Übergang vom Dom zur Wandung			

Tabelle 1: Angaben zum Rippen-Dom-Wanddicken-Verhältnis verschiedener Kunststoffe, um Einfallstellen zu vermeiden

Der Durchmesser der Aufnahmebohrung soll um so viel kleiner sein, dass die aufgeschmolzene und weggedrückte Masse etwa dem Volumen der Hinterschneidungen bzw. Rändelungen des Metallteils entspricht bzw. höchstens 10 bis 15 % größer ist. Tabelle 2 zeigt einige Angaben in Bezug auf Buchsendurchmesser und Aufnahmebohrung zweier Hersteller von Gewindeeinsätzen. Diese Maße können bzw. müssen bei der Verwendung anderer Metallteile zum Einbetten variiert werden, und zwar je nach Volumen der Hinterschneidungen, Rändelungen usw. Allgemein kann man davon ausgehen, dass bei einem Außendurchmesser des Metallteils bis 5 mm die Aufnahmebohrung etwa 0,4 mm und über 5 mm rund 0,6 mm kleiner sein soll. Wenn konische Metallteile in eine zylindrische Bohrung eingebettet werden, sollte die Bohrung etwa dem mittleren Durchmesser des Metallteils entsprechen.

$$\frac{D1 + D2}{2}$$

Auch hier sind Abweichungen, je nach Gestaltung des Metallteils, möglich. Dadurch wird eine gute und feste Verbindung im Kunststoffteil gewährleistet. Bei Sacklöchern ist darauf zu achten, dass die Aufnahmebohrung je nach Durchmesser mindestens 1,5 bis 3 mm tiefer ist, als das Metallteil lang ist. Bei größeren Aufnahmebohrungen mit relativ großer Wanddicke des Aufnahmedoms und bei Verwendung von teilkristallinen Kunststoffen muss die Gesamtschwindung des betreffenden Kunststoffes mitberücksichtigt werden. Es könnten sich sonst Maßänderungen ergeben, die zu Schwierigkeiten beim Einbetten (zu kleine Aufnahmebohrung) oder ungenügender Festigkeit (zu große Aufnahmebohrung) führen. Bei konischen Metallteilen ist der Durchmesser im Allgemeinen etwa 0,3 bis 1,1 mm kleiner als der obere Durchmesser der Aufnahmebohrung. Das ermöglicht ein verkantungsfreies Einführen. Bei zylindrischen Einsätzen ermöglicht eine Führungsbohrung das verkantungsfreie Einsetzen, wie ebenfalls aus Bild 1 ersichtlich ist.

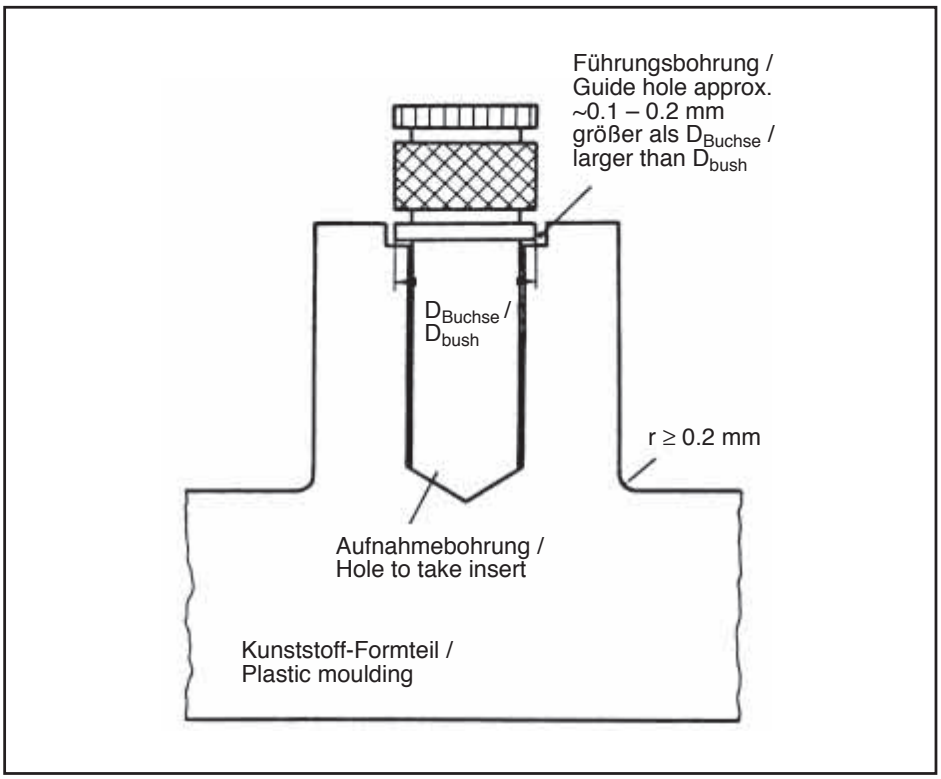


Bild 1: Prinzipskizze für Aufnahmebohrung

Einbetten

Die Sonotrode, das Werkzeug zum Einbetten, sollte mindestens den Durchmesser des Metallteils aufweisen, besser aber etwas größer sein. Das Kunststoffteil muss fixiert sein, damit ein Wegrutschen unter Schalleinwirkung vermieden wird. Die Sonotrode muss ferner einen guten Kontakt mit dem Metallteil haben, da es sonst zur unerwünschten Geräuschbildung durch hörbare, hohe Frequenzen kommen kann.

einwirken, bis das Metallteil voll eingebettet ist. Eine darüber hinausgehende Schalleinwirkung führt zu einer Gefügelockerung, bei transparenten Kunststoffen an einer Trübung der vorher transparenten Schmelze erkennbar (Bild 2).

Die Amplitude, d. h. die halbe Schwingweite, soll etwa zwischen 25 und 40 µm liegen. Je größer die Amplitude, desto größer die Gefahr von Spannungen, Rissbildung oder gar Zerstörung bei Domen mit geringer Wanddicke. Es sollte ferner darauf geachtet werden, dass bei eingebetteten

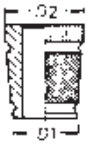
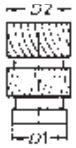
Metrisches Gewinde	Länge der Buchse in mm	Durchmesser der Buchse in mm		Aufnahme-bohrung in mm (Richtw.)	Gewindeeinsatz ®Hit-Sert 2
		D1	D2		
M3	5,5	4,0	4,70	4,30	
M4	7,5	5,2	6,15	5,65	
M5	9,0	6,4	7,35	6,85	
M6	10,0	7,7	8,75	8,25	
M8	12,0	9,7	11,30	10,80	
Metrisches Gewinde	**Länge der Buchse in mm**	**Durchmesser der Buchse in mm**		**Aufnahme-bohrung in mm (Richtw.)**	**Gewindeeinsatz ®Sonic-Loc**
		D1	**D2**		
M3	5,8	3,9	4,7	4,0	
M4	8,2	5,5	6,3	5,6	
M5	9,5	6,3	7,1	6,4	
M6	12,7	7,9	8,7	8,0	
M8	12,7	9,5	10,2	9,6	

Tabelle 2: Abmessungen von Gewindebuchsen der Ausführungen ®Hit-Sert 2 und ®Sonic-Loc mit Richtwerten für die Aufnahmebohrung

Es ist vorteilhaft, mit „schallender" Sonotrode aufzusetzen, d. h., der Schall sollte bereits beim Aufsetzen auf das Metallteil einsetzen. Dabei soll das Einbetten mit möglichst geringer Einsinkgeschwindigkeit erfolgen, damit der Kunststoff genügend Zeit zum Aufschmelzen hat und Spannungen vermieden werden. Eine zu schnelle Einsinkgeschwindigkeit kann zu Rissen oder Auseinanderplatzen des Doms führen. Auch der Druck soll so gering wie möglich eingestellt werden. Zur Erzielung optimaler Festigkeit darf der Schall nur so lange

Gewindebuchsen die Oberfläche der Buchse mit der Kunststoffoberfläche abschneidet oder einige Zehntelmillimeter übersteht, damit bei einer späteren Verschraubung die Kräfte der Mutter auf die Buchsenoberfläche einwirken und nicht auf die Oberfläche des Kunststoffteils. Sonst tritt zwischen Buchse und Kunststoff eine dauernde Zugbelastung auf, was bei einer Reihe von Kunststoffen zu einer Lockerung des Gefüges oder zu Spannungsrissen führen kann.

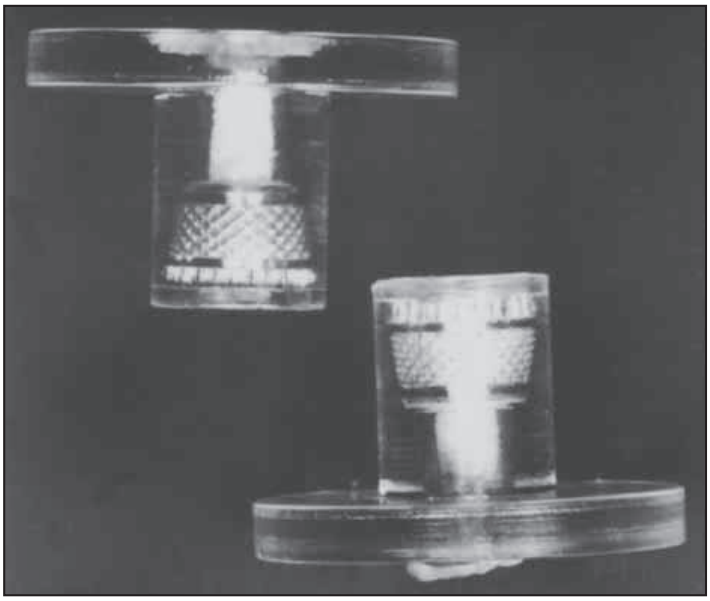


Bild 2: Gewindeeinsatz „Hit-Sert 2" in PC-transparent eingebettet; links: ts = 0,5 s = gut; rechts: ts = 1,0 s = trüb. Gefüge wieder etwas gelockert, Ultraschalleinwirkungen zu lange.

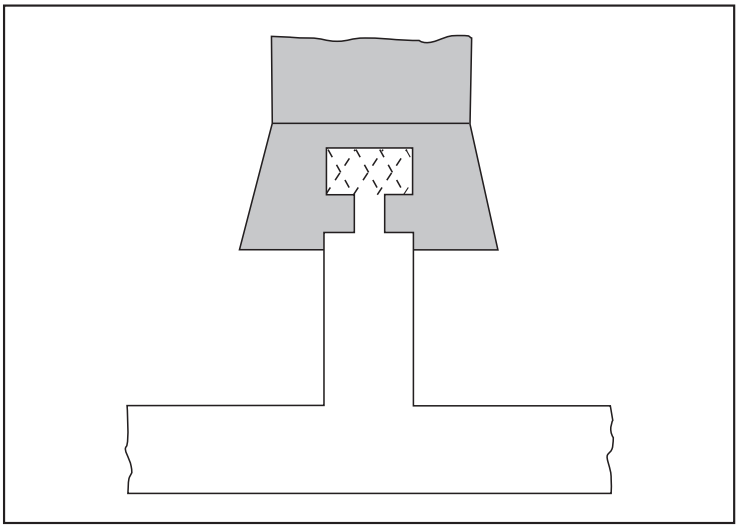


Bild 3: Skizziertes Einbetten eines langen Metallteils in Kunststoff

Das Einbetten mehrerer Metalleinsätze mit einer Sonotrode in einem Arbeitstakt ist nur möglich, wenn diese Einsätze etwa in einer Höhe liegen. Liegen die Einsätze in unterschiedlichen Höhen, muss mit abgestufter Sonotrode gearbeitet werden. Ein optimales Abstimmen der Sonotrode auf der gesamten Stirnfläche ist in diesem Fall jedoch schwierig.

Bei langen Metallteilen ist es oft schwierig oder nicht möglich, diese mit Ultraschall einzubetten. Sofern es die Gestalt des Teils zulässt, sollte man den umgekehrten Weg beschreiten, die Sonotrode auf das Kunststoffteil setzen und dieses in das Metallteil einbetten, wie in Bild 3 schematisch dargestellt.

Ergebnisse

Unter Beachtung der beschriebenen Parameter bei der Herstellung der Fertigteile und beim Einbetten erzielt man sehr gute Ausreiß- und Torsionskräfte, die etwa denen von umspritzten Teilen entsprechen. Die Höhe der Belastungskräfte hängt aber in starkem Maße von der Gestalt des Metallteils (Länge, Durchmesser), der Art, Tiefe und Anzahl der Hinterschneidungen zur Aufnahme des plastifizierten Kunststoffes, der Wanddicke der Dome und dem verwendeten Kunststoff ab. Dabei spielt ferner eine Rolle, ob später statische oder dynamische Kräfte einwirken.

Typische Werte
Die angegebenen Werte sind typische Werte. Sofern nicht ausdrücklich schriftlich mit uns vereinbart, stellen sie keine garantierten Werte oder Produktspezifikation im Sinne einer vereinbarten Beschaffenheit dar. Die angegebenen Werte können durch Werkzeuggestaltung, die Verarbeitungsbedingungen oder durch die Einfärbung des Produkts beeinflusst werden. Die angegebenen Eigenschaftswerte wurden, soweit nicht anders angegeben, an genormten Prüfkörpern bei Raumtemperatur ermittelt.

Es liegt außerhalb unserer Kontroll- und Einflussmöglichkeiten, in welcher Art und Weise und zu welchem Zweck Sie unsere Produkte, technischen Unterstützungen sowie Informationen (unabhängig ob mündlich, schriftlich oder anhand von Produktionsbewertungen erhalten), einschließlich vorgeschlagener Formulierungen und Empfehlungen, anwenden und/oder einsetzen. Daher ist es unerlässlich, dass Sie unsere Produkte, technischen Unterstützungen und Informationen sowie Formulierungen und Empfehlungen eigenverantwortlich daraufhin überprüfen, ob sie für die von Ihnen beabsichtigten Zwecke und Anwendungen auch tatsächlich geeignet sind. Eine anwendungsspezifische Untersuchung muss mindestens eine Überprüfung auf Eignung in technischer Hinsicht sowie hinsichtlich Gesundheit, Sicherheit und Umwelt umfassen. Derartige Untersuchungen wurden nicht notwendigerweise von Covestro durchgeführt. Der Verkauf aller Produkte erfolgt – sofern nicht schriftlich anders mit uns vereinbart – ausschließlich nach Maßgabe unserer Allgemeinen Verkaufsbedingungen, die wir Ihnen auf Wunsch gerne zusenden. Alle Informationen und sämtliche technische Unterstützung erfolgen ohne Gewähr (jederzeitige Änderungen vorbehalten). Es wird ausdrücklich vereinbart, dass Sie jegliche Haftung (Verschuldenshaftung, Vertragshaftung und anderweitig) für Folgen aus der Anwendung unserer Produkte, unserer technischen Unterstützung und unserer Informationen selbst übernehmen und uns von aller diesbezüglichen Haftung freistellen. Hierin nicht enthaltene Aussagen oder Empfehlungen sind nicht autorisiert und verpflichten uns nicht. Keine hierin gemachte Aussage darf als Empfehlung verstanden werden, bei der Nutzung eines Produkts etwaige Patentansprüche in Bezug auf Werkstoffe oder deren Verwendung zu verletzen. Es wird keine konkludente oder tatsächliche Lizenz aufgrund irgendwelcher Patentansprüche gewährt.

Zum Schutz von Gesundheit, Sicherheit und Umwelt beachten Sie bitte vor Verarbeitung unserer Produkte das betreffende Sicherheitsdatenblatt (MSDS) und sonstige Produktkennzeichnungen.

Covestro Deutschland AG
Business Unit Polycarbonates
D-51365 Leverkusen

plastics@covestro.com
www.plastics.covestro.com