

Wie wählt man einen Gewindeeinsatz für Ihre 3D-gedruckte Baugruppe aus?

Von Kathrine Ionkin - Application Engineer
SPIROL Connecticut, USA

Ähnlich wie bei Spritzgussbauteilen aus Kunststoff werden Gewindeeinsätze häufig in 3D-gedruckten Baugruppen eingesetzt, um wiederverwendbare Gewinde zu erhalten und die Festigkeit der Verbindungen zu erhöhen. Dieses Technische Papier enthält Empfehlungen, Konstruktionsrichtlinien und Erwartungen hinsichtlich der Leistungsfähigkeit verschiedener Gewindeeinsätze, die in den 3D-Druckverfahren Fused Deposition Modeling (FDM), Selective Laser Sintering (SLS) und Stereolithography (SLA) verwendet werden. Diese additiven Fertigungstechnologien sind für Baugruppen besonders relevant, die durch die Leistungsverbesserungen von Gewindeeinsätzen profitieren.



Abbildung 1

SPIROL Serie 29 lang - Gewindeeinsätze für Wärme/Ultraschall-Einbettung in einer 3D-gedruckten Yoyo Baugruppe

Übersicht 3D-Druck

Materialextrusion - Schmelzschicht-Modellierung

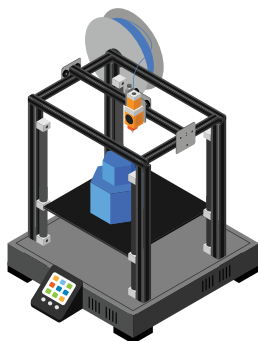


Abbildung 2
FDM-Druckertechnologie

Pulverbettfusion - Selektives Lasersintern



Abbildung 3
SLS-Druckertechnologie

VAT-Photopolymerisation - Stereolithografie

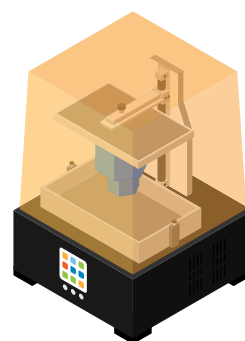


Abbildung 4
SLA-Druckertechnologie

Beim FDM-Druck werden geschmolzene thermoplastische Filamente durch eine beheizte Düse extrudiert und die Bauteile Schicht für Schicht aufgebaut. Dieses Verfahren ist aufgrund seiner kostengünstigen und benutzerfreundlichen Eigenschaften das am weitesten verbreitete 3D-Druckverfahren. Gängige Materialien für den FDM-Druck sind PLA, ABS und PETG.

Beim SLS-Druckverfahren werden Schichten aus pulverförmigen Thermoplasten mittels Laser verschmolzen. Dieses Verfahren eignet sich ideal für die Herstellung komplexer Geometrien und liefert Teile mit hervorragender mechanischer Festigkeit. Das gängigste Material beim SLS-Druck ist Nylon.

Beim SLA-Druck werden flüssige, wärmehärtbare Harze mithilfe eines UV-Lasers durch Photopolymerisation Schicht für Schicht ausgehärtet. Dieses Verfahren ermöglicht die Herstellung von Bauteilen mit hoher Auflösung und Präzision.

Empfehlungen für Gewindeeinsätze

Gewindeeinsätze gibt es in verschiedenen Ausführungen, die häufig nach ihrer Einbaumethode kategorisiert werden, wie z. B. nach dem Spritzgießen durch Wärme- oder Ultraschall-Einbettung sowie durch Kalteinpressen. Der optimale Einsatztyp für eine 3D-gedruckte Anwendung hängt vom eingesetzten Kunststoffmaterial ab.

Für Thermoplaste (FDM und SLS)

Thermoplaste lassen sich mehrfach erwärmen und abkühlen, ohne dass sich ihre Eigenschaften nennenswert verändern. Daher können Gewindeeinsätze mithilfe von Wärme (thermisch) oder Ultraschall in thermoplastische 3D-gedruckte Baugruppen eingesetzt werden, oder sie können einfach in die Baugruppe eingepresst oder eingeschraubt werden:

- Wärme-/Ultraschall-Gewindeeinsätze: Empfohlen für Baugruppen, die höchste Zugfestigkeit und Drehmomentleistung erfordern.
- Gewindeeinsätze zum Einpressen: Sie bieten eine moderate Zug- und Drehmomentleistung und sind am einfachsten zu montieren, da sie keine Spezialausrüstung erfordern.



Abbildung 5
SPIROL-Serie 19/20 (oben)
und Serie 29/30 (unten)
– Wärme-/Ultraschall-
Gewindeeinsätze

Für duroplastische Kunststoffe (SLA)

Duroplaste bleiben nach dem Aushärten dauerhaft in festem Zustand und zerfallen bei hohen Temperaturen, anstatt zu schmelzen. Daher ist es ratsam, Gewindeeinsätze im „kalten“ Zustand zu installieren:

- Gewindeeinsätze zum Einpressen: Die beste Wahl für Duroplaste.
- Selbstschneidende Gewindeeinsätze: Eine praktikable Alternative, deren Installation zwar weniger Kraftaufwand erfordert, die jedoch die Leistung beim Losdrehen einschränkt.
- Spreiz-Gewindeeinsätze: Die Installation ist am einfachsten, aber die Leistung ist die niedrigste aller Arten von Gewindeeinsätzen.



Abbildung 6

SPIROL Serie 50 (oben links) und 51 (oben rechts) Gewindeeinsätze zum Einpressen sowie SPIROL Serie 10 Selbstschneidende Gewindeeinsätze (unten)

Materialeigenschaften

Die Leistung des Gewindeeinsatzes wird stark von den Eigenschaften des Trägermaterials beeinflusst.

- Zugfestigkeit: Gibt die Fähigkeit des Materials an, einer plastischen Verformung standzuhalten
- Elastizitätsmodul: Beeinflusst die Steifigkeit des Materials und dessen Fähigkeit, Biegekräfte zu verteilen; entscheidend für die Vermeidung von Verformungen und die Gewährleistung einer korrekten Lastverteilung

Darüber hinaus wirken sich die thermischen Eigenschaften auf den Installationsprozess aus, da Materialien mit höherer Wärmeleitfähigkeit eine gleichmäßigere Wärmeverteilung begünstigen, wodurch der Kunststofffluss verbessert und eine vollständige Ausfüllung um die Halteelemente herum für eine sichere Verbindung gewährleistet wird. Ebenso beeinflusst die Wärmeformbeständigkeits-Temperatur eines bestimmten Kunststoffs die Temperatur für die thermische oder ultraschallgestützte Installation des Gewindeeinsatzes.

Konstruktionsrichtlinien

Die Leistungsfähigkeit eines Gewindeeinsatzes in 3D-gedruckten Materialien wird von mehreren entscheidenden Faktoren beeinflusst. In diesem Abschnitt werden wichtige Konstruktionsrichtlinien vorgestellt, wobei der Schwerpunkt auf der Bohrungsgröße, den Materialeigenschaften, der Wandstärke, der Füllung und der Schichtdicke liegt, um eine optimale Leistungsfähigkeit des Gewindeeinsatzes in 3D-Druckanwendungen zu gewährleisten.

Bohrungsdurchmesser

Der Bohrungsdurchmesser ist entscheidend für die Leistungsfähigkeit von Gewindeeinsätzen. Der Katalog für Gewindeeinsätze von SPIROL enthält Richtlinien für die Bohrungsgröße, doch die Toleranzen beim 3D-Druck überschreiten normalerweise die empfohlenen +0,08 mm. Typische Toleranzen sind wie folgt:

- Industrieller FDM-Druck: $\pm 0,2$ mm
- Desktop-Drucker: $\pm 0,3$ – $0,5$ mm
- SLA-Drucker: $\pm 0,1$ mm
- SLS-Druck: $\pm 0,3$ mm

Um Abweichungen zu minimieren, besteht eine Möglichkeit darin, Löcher in das Kunststoffmaterial zu bohren. Dies reduziert zwar die Abweichungen, kann aber die Verstärkung der FDM-gedruckten Außenwände beeinträchtigen (weitere Erläuterungen finden Sie in diesem Technischen Papier). Alternativ kann eine iterative Entwicklung durchgeführt werden, bis die optimale Bohrungsgröße erreicht ist.

Wandstärke

Gewindeeinsätze benötigen eine ausreichende Wandstärke im umgebenden Bereich, um die Leistungsanforderungen zu erfüllen. Für eine optimale Leistung sollte die Anzahl der äußeren Wandschleifen so ausgelegt sein, dass ein massiver Vorsprung (Ansatz) von mindestens dem 1,5-fachen des Rändeldurchmessers des Gewindeeinsatzes entsteht. Bei einem M6-Gewindeeinsatz entspricht dies 6 Wandschleifen (bei 0,4 mm Düsendurchmesser). Das maximale Leistungspotenzial wird mit einem Vorsprung von mindestens dem 2-fachen des Rändeldurchmessers des Einsatzes erreicht.

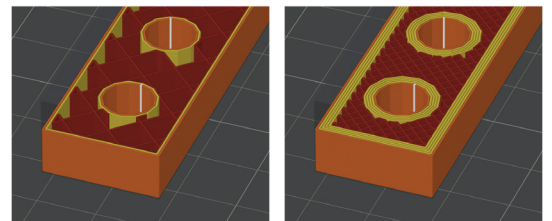


Abbildung 7

15 % Füllung mit 2 Wandschleifen (links), 55 % Füllung mit 5 Wandschleifen (rechts)

Füllung (nur FDM)

Leistung des Gewindeeinsatzes steigt linear mit der Füllichte. Für eine optimale Leistung des Gewindeeinsatzes sollte eine Füllichte von mehr als 50 % gewählt werden.

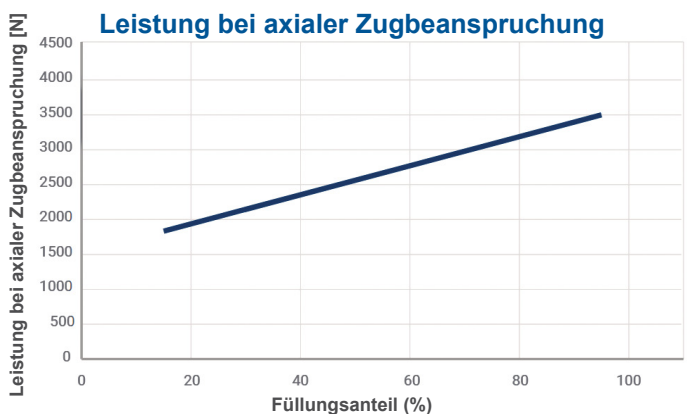
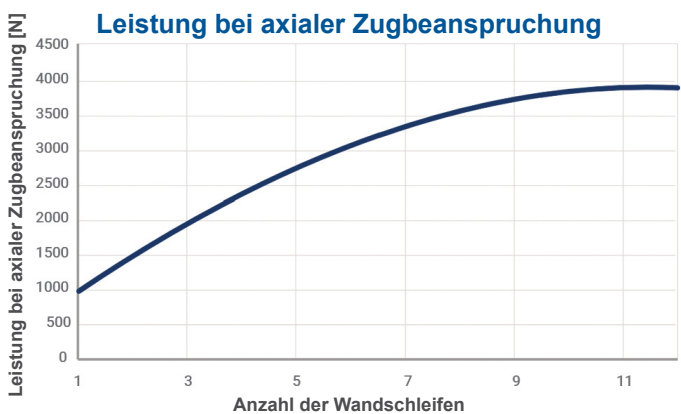
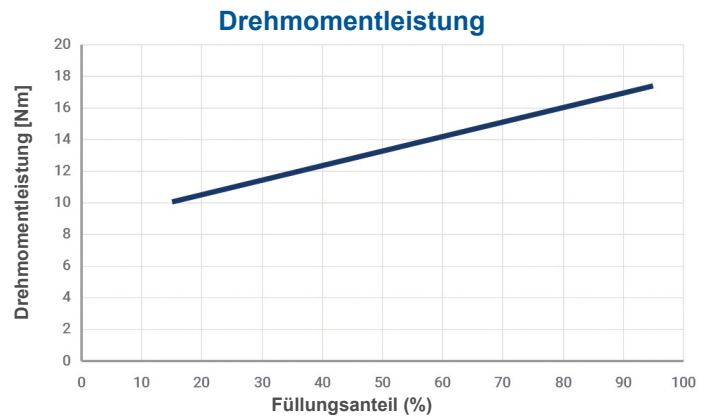
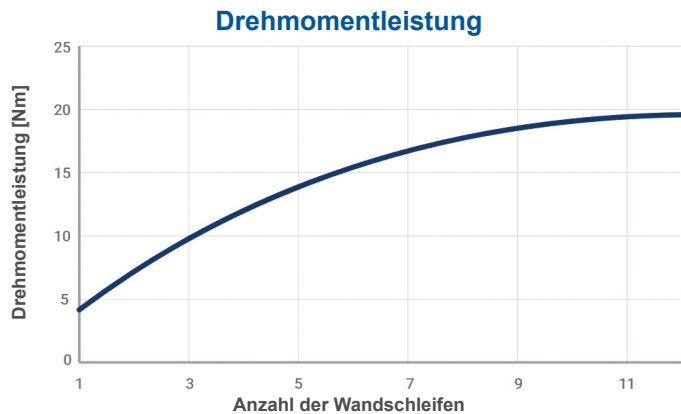


Abbildung 8

Leistung des Gewindeeinsatzes in Abhängigkeit von der Anzahl der Wandschleifen (PLA-Material, 15 % Füllung, Test durchgeführt mit SPIROL INS 29 M6 kurz)

Abbildung 9

Leistung des Gewindeeinsatzes in Abhängigkeit von der Füllung (PLA-Material, 2 Wandschleifen, Test durchgeführt mit SPIROL INS 29 M6 kurz)

Schichtdicke (FDM, SLS)

Im Allgemeinen führen dickere Schichten zu einer schwächeren Bindung zwischen den Schichten, da größere Hohlräume vorhanden sind. Die beste Leistung eines Gewindeeinsatzes wird bei FDM und SLS typischerweise bei einer Schichtdicke von etwa 0,16 bis 0,2 mm erreicht, wo die Zugfestigkeit optimiert ist.

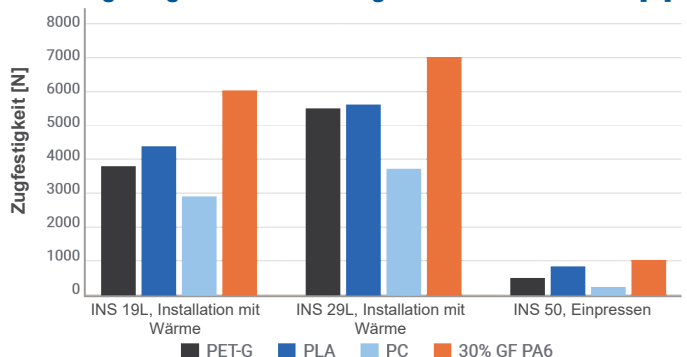
Leistungsvergleich Gewindeeinsatz

Vergleichen wir die Leistungsfähigkeit von drei (3) verschiedenen Serien von M6-Gewindeeinsätzen: symmetrische (SPIROL INS 29 lang) und asymmetrische (SPIROL INS 19 lang) zur Wärmeeinbettung sowie einen Gewindeeinsatz zum Einpressen (SPIROL INS 50) in gängigen 3D-Materialien. Detaillierte Vergleichstestergebnisse werden für FDM-, SLS- und SLA-gedruckte Bauteile bereitgestellt. Diese Erkenntnisse helfen Konstrukteuren dabei, den optimalen Gewindeeinsatz basierend auf spezifischen Leistungsanforderungen auszuwählen.

Mit FDM gedruckte Bauteile

Wie erwartet übertrifft die Leistungsfähigkeit der thermisch eingebrachten Gewindeeinsätze die der eingepressten Gewindeeinsätze in den verschiedenen 3D-gedruckten Materialien. Dies deckt sich mit den Ergebnissen bei extrudierten Kunststoffen.

Zugfestigkeit bei mit FDM gedruckten Materialien [N]



Drehmomentleistung bei mit FDM gedruckten Materialien [Nm]

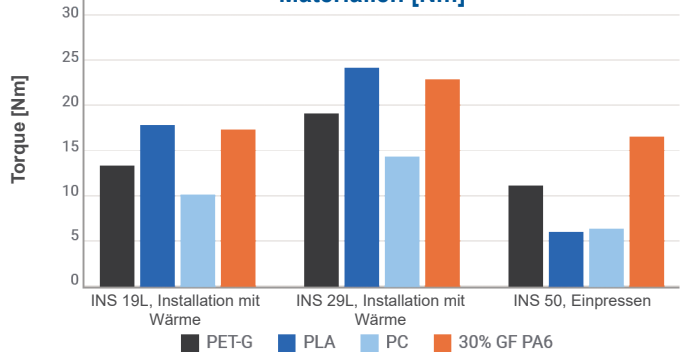


Abbildung 10

Durchschnittliche Messwerte der Zugfestigkeit bei FDM, M6, Newtonmeter (Nm)*

*Die Prüfung der FDM-Proben erfolgte bei einer Füllung von 55 % und einer Wandstärke von 1,5-fach (5 Wandschichten). Die geschätzten Werte für die Leistung des Gewindeeinsatzes können auf der Grundlage des Zusammenhangs zwischen Füllung und Leistung berechnet werden. Die Schichtdicke wurde auf 0,16 mm gehalten, um die Zugfestigkeit zu maximieren, da dies eine feine Materialablage ermöglicht. Der Rasterwinkel wurde auf $\angle 0^\circ$ gehalten.

Mit SLS gedruckte Bauteile

Obwohl SLS-Bauteile mit 100% Füllung hergestellt werden und potenziell eine mit gegossenen oder extrudierten Bauteilen vergleichbare mechanische Festigkeit erreichen können, kann die Mikroporosität die Leistung der Gewindeeinsätze erheblich beeinträchtigen.

Mit SLA gedruckte Bauteile

Da es sich bei SLA-Druckmaterialien in erster Linie um duroplastische Kunststoffe handelt, können nur Gewindeeinsätze zum Einpressen effektiv eingesetzt werden, da sie ideal für die Installation ohne Erhitzung des Trägermaterials sind.

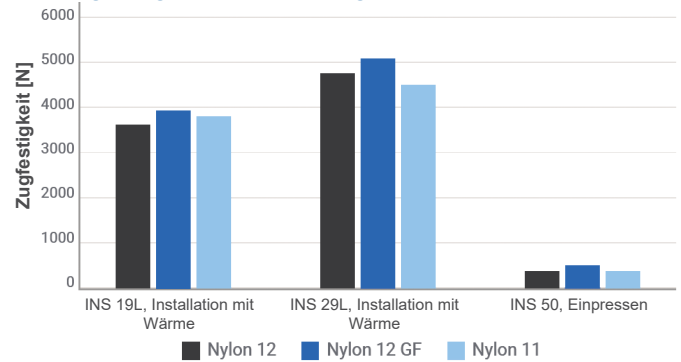
Selbstschneidende Gewindeeinsätze stellen zwar eine praktikable Alternative dar, da sie jedoch in die Baugruppe eingeschraubt werden, ist ihre Montage zeitaufwändig und sie können sich bei nicht dauerhafter Verbindung lösen. Aufgrund dieser Schwierigkeit wurden selbstschneidende Gewindeeinsätze in dieser Studie nicht berücksichtigt; ebenso wenig wie Spreiz-Gewindeeinsätze aufgrund ihrer geringen Leistungsfähigkeit.

Material	Drehmoment (N*m)	Zugkraft (N)
Harz	7	40

Tabelle 1

Die Leistungsfähigkeit des SPIROL Gewindeeinsatzes zum Einpressen (INS 50 / M6 / .312 EK) in klarem Photopolymerharz

Zugfestigkeit bei mit SLS gedruckten Materialien [N]



Drehmomentleistung bei mit SLS gedruckten Materialien [Nm]

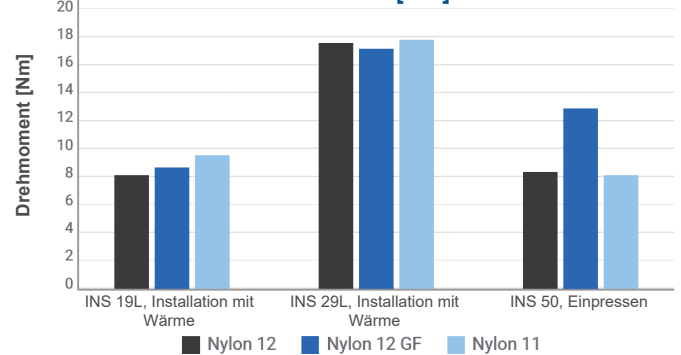


Abbildung 11

Durchschnittliche Messwerte der Zugfestigkeit bei SLS, M6, Newtonmeter (Nm)*

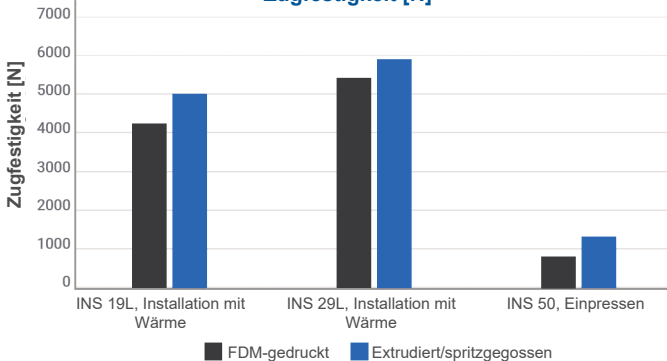
Vergleich mit Spritzgussteilen

Beim Vergleich der Unterschiede zwischen den im Spritzgussverfahren und im 3D-Druckverfahren hergestellten Bauteilen ist zu beachten, dass dasselbe Material sehr unterschiedliche Eigenschaften aufweisen kann, die die Leistung des Gewindeeinsatzes beeinflussen.

Trotz ihrer geschichteten Geometrie erreichen FDM-gedruckte Bauteile eine hohe Leistungsfähigkeit – insbesondere bei Verwendung von Wärme-/Ultraschall-Gewindeeinsätzen. Ein direkter Vergleich von FDM-gedrucktem Polycarbonat (PC) und extrudiertem Kunststoff ist in Abbildung 12 dargestellt.

SLS-Druckteile neigen stärker zu Mikrorissen und einem vorzeitigen Versagen des Gewindeeinsatzes. SLS-Pulver weisen im Vergleich zu ähnlichen Kunststoffen für den Spritzguss häufig schwächere Materialeigenschaften auf, was oft an unterschiedliche Zusammensetzungen und die Mikroporosität der fertig gedruckten Bauteile liegt. Da sich die Materialeigenschaften stark unterscheiden, kann die Leistungsfähigkeit eines Gewindeeinsatzes um 20 % bis 50 % geringer sein als bei einem extrudierten Kunststoff.

FDM-Leistungsvergleich in Polycarbonat Zugfestigkeit [N]



FDM-Leistungsvergleich in Polycarbonat Drehmoment [Nm]

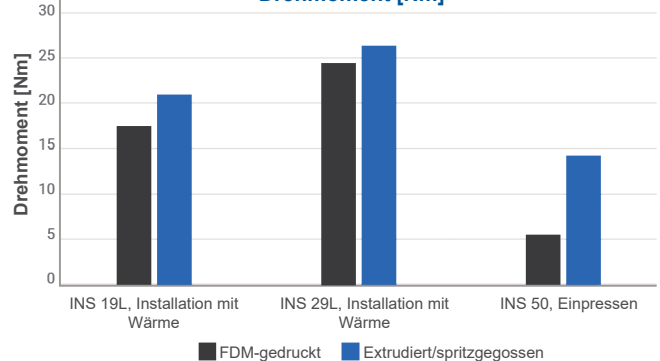


Abbildung 12

Leistungsvergleich für FDM und extrudierte/spritzgegossene Kunststoffe (FDM: 55 % Füllung und 5 Wandschleifen)

*Die Prüfung der FDM-Proben erfolgte bei einer Füllung von 55 % und einer Wandstärke von 1,5-fach (5 Wandschichten). Die geschätzten Werte für die Leistung des Gewindeeinsatzes können auf der Grundlage des Zusammenhangs zwischen Füllung und Leistung berechnet werden. Die Schichtdicke wurde auf 0,16 mm gehalten, um die Zugfestigkeit zu maximieren, da dies eine feine Materialablage ermöglicht. Der Rasterwinkel wurde auf 40° gehalten.

Installationsmethoden für die Prototypenerstellung



Abbildung 13
LötKolben

Bis zu 70 % der Leistungsfähigkeit eines Gewindeeinsatzes hängen direkt von der Qualität der Installation ab – insbesondere bei der Installation mit Wärme oder Ultraschall. Ausrichtung, Temperatur, Druck und Schweißzeit sind allesamt wichtige Faktoren.

Die besten Ergebnisse in Prototypenlaboren werden mit speziell dafür angefertigten Geräten erzielt.

Für schnelle Versuche oder wenn keine Spezialausrüstung zur Verfügung steht, kann auch ein LötKolben verwendet werden. Es ist zu beachten, dass bei der Verwendung eines LötKolbens für die Installation des Gewindeeinsatzes vorzugsweise eine Spitze verwendet werden sollte, die auf den Gewindeeinsatz so gut wie möglich abgestimmt ist. Eine geeignete Betriebstemperatur für die Installation mit einem LötKolben liegt normalerweise zwischen 650 °F und 750 °F (343 °C und 399 °C). Eine Faustregel zur Bestimmung der Temperatur der Installation bei direkter Erwärmung besteht darin, einen zusätzlichen Sicherheitsfaktor zur Wärmeformbeständigkeits-Temperatur des jeweiligen Materials hinzuzurechnen:

$$T_{\text{Installation}} = T_{\text{Wärmeformbeständigkeit}} + 150^{\circ}\text{F} (65^{\circ}\text{C})$$

Die Wärmeformbeständigkeits-Temperatur ist die Temperatur, bei der sich ein Thermoplast unter einer bestimmten Belastung verformt. Üben Sie einen konstanten Druck auf den Gewindeeinsatz aus, indem Sie den LötKolben nach unten drücken, sobald er den Gewindeeinsatz kontaktiert.

Bei Gewindeeinsätzen sollte eine Dornpresse verwendet werden, um einen konstanten Druck auszuüben; bei weicheren Kunststoffen kann ein Hammer eine kostengünstige Montagemöglichkeit sein.

Für Klein- bis Großserienfertigung sollten Sie halbautomatische oder vollautomatische Installationsausrüstungen in Betracht ziehen.

Das Wichtigste auf einen Blick

Wärme-/Ultraschall-Gewindeeinsätze bieten die höchste Festigkeit bei 3D-gedruckten Thermoplasten, während Gewindeeinsätze zum Einpressen eine praktikable Alternative darstellen, insbesondere bei duroplastischen Materialien, bei denen eine Installation durch Erhitzen nicht möglich ist. Duroplastische Kunststoffe beschränken die Einsatzmöglichkeiten von Gewindeeinsätzen naturgemäß auf Einpressverfahren.

Die wichtigsten Ergebnisse zeigen, dass sich die Leistungsfähigkeit von Gewindeeinsätzen beim FDM-Druck mit zunehmender Füllichte und Wandschleifen verbessert, wobei optimale Ergebnisse bei einer Schichtdicke von 0,16–0,2 mm, einer Füllichte von 50 % oder mehr und einer Anzahl von Wandschleifen erzielt werden, die der metrischen Abmessung des Gewindeeinsatzes entspricht oder diese übersteigt.

Die Ergebnisse zeigen, dass FDM-3D-gedruckte Bauteile bei hoher Füllrate und Wandstärke etwa 70–80 % der Leistungsfähigkeit eines vergleichbaren gespritzten Materials erreichen. Während SLS-Komponenten eine hohe theoretische Festigkeit aufweisen, können sie aufgrund ihrer Mikroporosität im Vergleich zu gespritzten Kunststoffen nur etwa 50–70 % der Leistungsfähigkeit erreichen.

SPIROL unterstützt Sie bei der Auswahl des passenden Gewindeeinsatzes für Ihre 3D-gedruckten Serien- und Prototypenprojekte. Aufgrund der Vielfalt an 3D-Druckverfahren, Materialien und Parametern können die Ergebnisse variieren. Daher empfehlen wir gründliche Tests und Bewertungen für jede einzelne Baugruppe.

Technische Zentren

Europa **SPIROL Deutschland**
München
+49 (0) 89 4 111 905 71
info-de@spirol.com

SPIROL Vereinigtes Königreich
Corby, Northants, England
+44 (0) 1536 444800
info-uk@spirol.com

SPIROL Ford
South Shields, Tyne & Wear, England
+44 (0) 1914 540141
contactus@ford-engineering.com

SPIROL Frankreich
Saint-Léonard
+33 (0) 3 26 36 31 42
info-fr@spirol.com

SPIROL Spanien
Barcelona
+34 932 71 64 28
info-ib@spirol.com

SPIROL Tschechische Republik
Tuchoměřice
+420 226 218 935
info-cz@spirol.com

SPIROL Polen
Warschau
+48 510 039 345
info-pl@spirol.com

Amerika **SPIROL International Corporation**
Connecticut, USA
+1 860 774 8571
info@spirol.com

SPIROL Shim-Abteilung
Ohio, USA
+1 330 920 3655
info@spirol.com

SPIROL Kanada
Windsor, Ontario
+1 519 974 3334
info-ca@spirol.com

SPIROL Mexiko
Apodaca, Nuevo León
+52 81 8385 4390
info-mx@spirol.com

SPIROL Brasilien
Indaiatuba, São Paulo
+55 19 3936 2701
info-br@spirol.com

Asien Pazifik **SPIROL China**
Shanghai
+86 (0) 21 5046-1451
info-cn@spirol.com

SPIROL Malaysia
Iskandar Puteri, Johor
+60 77 063 960
info-my@spirol.com

SPIROL Korea
Seoul, Südkorea
+82 (0) 10 9429 1451
info-kr@spirol.com