

FDM Bauteile

verkleben & fügen

Übersicht

Das Aufteilen und Verbinden von FDM (Fused Deposition Modeling)-Bauteilen ist eine hervorragende Lösung für Bauteile, die zu groß für einen einzelnen Arbeitsschritt sind, sowie für eine schnellere Auftragsabwicklung mit weniger Stützmaterial oder für Bauteile mit präzisen Details. Für das Verbinden von FDM-Bauteilen gibt es viele Methoden und sogar noch mehr Materialien.

Die wichtigsten Aspekte für die Auswahl einer Verbindungsmethode sind die Festigkeit der Verbindungsgelenke und die Kompatibilität mit den einzelnen FDM-Materialien. Stratasys führte an der University of Texas in El Paso Labortests durch, um Festigkeitsdaten zu erhalten und die Zugfestigkeit zu ermitteln. Zudem wurden weitere Aspekte wie z. B. Zeit, Kosten, Schwierigkeiten im Arbeitsablauf, Teilekonfiguration und allgemeine Leistung berücksichtigt. Die Präzision der verbundenen Teile hängt jedoch von vielen Faktoren ab. So wird die Präzision u. a. von Hafteigenschaften wie z. B. der Viskosität beeinflusst. Noch stärker wirken sich die Fähigkeiten des Technikers, der Gelenktyp und die Art der Montagevorrichtung aus.

Um Ihnen bei der Auswahl eines für Ihre Anforderungen geeigneten Ansatzes zu helfen, finden Sie im Folgenden eine kurze Auswertung der üblichen Verbindungsmethoden für Bauteile aus verschiedenen FDM-Materialien.

Bauteile mit Stratasys Software schneiden

Mit der Stratasys Software Insight & Catalyst haben Sie die Möglichkeit Ihre Bauteile nach Import der STL Datei zu schneiden. Hierzu benötigen Sie weder ein separates CAD System, da Sie keinerlei Konstruktionen durchführen müssen. Ein weiterer Vorteil ist die durch die Software automatisch erzeugte 3D Verstrebung, welche das Zusammenfügen nach dem 3D Druck erheblich erleichtert.



Verfahren

➤ **Klebstoff (Epoxid)**

Für das Verbinden von FDM-Bauteilen werden häufig Zweikomponenten-Epoxide eingesetzt. Die Epoxid-Komponenten werden gemischt und anschließend mit Dispensern, Pinseln oder per Infiltration aufgetragen. Die Viskosität reicht von dünn und barytähnlich bis hin zu dick und Kitt ähnlich. Daher kommen für das Auftragen unterschiedliche Techniken zum Einsatz. Nach dem Auftragen werden die verbundenen Abschnitte mit einer Montagevorrichtung oder Klemmen fixiert, bis das Epoxid ausgehärtet ist.

Die Epoxide weisen verschiedene Aushärtungsdauern, Materialeigenschaften und Verbindungsfestigkeiten auf. Im Allgemeinen sind sie jedoch einfach zu verwenden. Sie bieten eine gute mechanische Festigkeit und in der Regel eine geeignete Temperatur- und chemische Beständigkeit. Diese Klebstoffe zeichnen sich durch eine Bearbeitungszeit von 20 bis 70 Minuten aus, sodass auch nach dem Verbinden kleinere Anpassungen vorgenommen werden können. Dafür weisen sie jedoch eine lange Aushärtungszeit auf. Bei einer Aushärtung bei Raumtemperatur können die Teile über viele Stunden nicht behandelt werden, und die Aushärtungszyklen können ein bis fünf Tage dauern. Der Zyklus kann durch Heißhärtung erheblich verkürzt werden.

➤ **Klebstoff (Cyanacrylat)**

Cyanacrylat wird häufig als Sekundenkleber bezeichnet. Es handelt sich um einen rasch aushärtenden Klebstoff, der für schnelle und einfache Reparaturen und Verbindungsanwendungen mit leichter Beanspruchung eingesetzt werden kann. Der Sekundenkleber wird einfach auf die zu verbindenden Kontaktflächen aufgetragen. Der Klebstoff verfestigt sich in wenigen Minuten. Die Zugfestigkeit von FDM-Bauteilen, die mit Sekundenkleber verbunden wurden, ist größer als bei der Verwendung von Epoxidklebstoffen. Jedoch ist die Beständigkeit gegenüber hohen Temperaturen, Chemikalien und Lösungsmitteln mangelhaft. Daher können Sekundenklebverbindungen die Leistung der FDM-Bauteile beeinträchtigen. Aus diesem Grund werden sie eher für Konzeptmodelle sowie Form- und Passformprototypen und weniger für Funktionsprototypen oder gefertigte Bauteile empfohlen.

➤ **Lösungsmittel**

Bei Lösungsmittelverbindungen wird der Kunststoff an den zu verbindenden Flächen chemisch geschmolzen. Das Lösungsmittel kann mit einem Pinsel auf die Flächen aufgetragen werden, die anschließend verbunden und eingespannt werden. Außerdem kann es in bereits verbundene Gelenke oder vorhandene Bruchstellen injiziert werden. Das wässrige Lösungsmittel wird von der Bauteiloberfläche absorbiert, sodass eine festere Reparatur oder Verbindung entsteht. Es können verschiedene Lösungsmittel verwendet werden, wir empfehlen jedoch SAME STUFF von Micro-Mark. Mit dieser Methode entstehen Verbindungen, die fester als viele Klebstoffverbindungen sind. Wie beim Sekundenkleber handelt es sich um ein einfaches Verfahren mit einer sekundenschnellen Verbindung. Eine weitere Gemeinsamkeit ist die mögliche Anwendung in schwer zugänglichen Bereichen, da das Lösungsmittel in Nähte und Risse eindringt.

Ein Vorteil gegenüber Sekundenkleber und Epoxid besteht darin, dass das verbundene Teil nach dem Verdunsten des Lösungsmittels nur aus FDM-Materialien besteht. Obwohl die Verbindung in wenigen Sekunden hergestellt wird, sollten die Teile mindestens acht Stunden lang aushärten. Beachten Sie zudem, dass bei Temperaturen von mehr als 80 °C auf der Bauteiloberfläche eine Blasenbildung auftreten kann. Das Lösemittelkleben ist nicht für PPSF- oder ULTEM 9085-Verbindungen geeignet. Diese FDM-Materialien sind chemisch beständig und reagieren daher kaum mit Lösungsmitteln.

➤ **Heißluft-Kunststoffschweißen**

Das Heißluftschweißen von Kunststoffen ähnelt dem Autogenschweißen von Metall. Die Strahlflamme wird jedoch durch einen Heißluftstrahl und der Schweißdraht durch eine Faser aus FDM-Material ersetzt. Zum Verbinden der Teile wird ein Werkzeug zum Heißluftschweißen langsam entlang der Kontaktfläche geführt. Durch die Hitze schmilzt die Faser und füllt auf diese Weise die Naht aus. Mit dieser Methode entstehen Verbindungen, deren Festigkeit alle anderen Methoden übertrifft. Zudem ist sie schnell und kostengünstig.

Die Teile können in Betrieb genommen werden, sobald sie abgekühlt sind. Da es sich beim Verbindungsmaterial um eine kleine Menge an FDM-Kunststoff handelt, entstehen nur geringfügige

Kosten. Ein weiterer Vorteil bei der Verwendung von FDM-Material als Verbindungsmedium besteht im einheitlichen Material. Die Verbindung verfügt über dieselben Eigenschaften und Merkmale wie das Bauteil. Um optimale Ergebnisse zu erzielen, sollten dünnwandige Bereiche nicht mit Heißluft geschweißt werden. Zudem erfordert das Verfahren ein gewisses Geschick, daher sind die Ergebnisse von der Erfahrung und den Fertigkeiten des Technikers abhängig.

➤ **Ultraschallschweißen**

Diese Technik wird häufig in Produktionsprozessen für eine dauerhafte Verbindung zwischen Kunststoffteilen eingesetzt. Die Kontaktflächen werden mithilfe eines Werkzeugs für Ultraschallschweißen und Schallwellen geschmolzen. Da es Ultraschall-Handscheißgeräte gibt, kann diese Methode auch für Prototypenkleinserien oder die direkte digitale Fertigung eingesetzt werden. Abgesehen von den Kosten eines Scheißgeräts, weist das Ultraschallschweißen im Vergleich zu anderen Verbindungsmethoden (wenn überhaupt) nur wenige Nachteile auf. Die Scheißbereiche sind fester als das umgebende Material, wobei die Zugfestigkeit geringer als bei heißluftgeschweißten oder nicht verbundenen Teilen ist. Die Sonotrode des Ultraschallschweißgeräts und deren Spitzen können in der Regel ausgetauscht werden. Es gibt eine Vielzahl von Sonotroden und Spitzen, mit denen die Dicke des zu schweißenden Materials, der Scheißdurchmesser und die Art der Scheißnaht bestimmt werden können.

Da der Kontaktfläche kein zusätzliches Material hinzugefügt wird, bleiben Bauteilpräzision und Eigenschaften nahezu unverändert. Daher eignet sich das Ultraschallschweißen ideal für medizinische Anwendungen, bei denen die Qualität des Teils ebenso berücksichtigt werden muss, wie dessen Eignung für den Hautkontakt.

Wenn eine größere Festigkeit erforderlich ist, kann das Ultraschallschweißen mit anderen Methoden kombiniert werden. Sie können einzelne Teile heftscheißten, um deren Position zu fixieren, und anschließend Klebstoffe, Lösungsmittel oder andere Verbindungsmittel auftragen. Dieser Ansatz eignet sich insbesondere für unhandliche oder komplexe Baugruppen. Das Ultraschweißen ist eine schnelle und kostengünstige Methode. Das Teil kann nach Abschluss des Scheißvorgangs sofort in Betrieb genommen werden. Und da keine Verbrauchsmaterialien erforderlich sind, fallen lediglich direkte Arbeitskosten an.

Eigenschaften der Klebeverfahren

Verfahren	Option	Kosten	Arbeitszeit	Aushärtezeit	Viskosität	Festigkeit	Chem. Resistenz	Hitzebeständigk.
Epoxid	Hysol ®E-20 HP	mittel	20 min	24 h	Mittel	hoch	mittel	mittel
	Magnolia® 6166	hoch	60 min	7 Tage	hoch	mittel	mittel	hoch
Cyanacrylat	Locite ®	gering	0,5 min	15 min	gering	mittel	gering	gering
Lösungsm.	Micro-Mark®	gering	5 min	8 h	gering	hoch	hoch	gering
Schweißen	Heißluft	gering	15 min	NA	hoch	hoch	hoch	hoch
	Ultraschall	gering	5 min	NA	NA	hoch	hoch	hoch

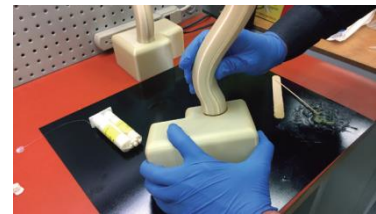
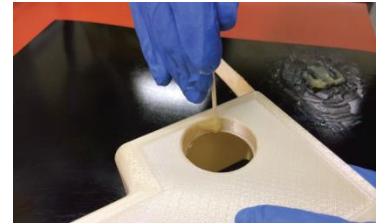
Kompatibilität mit FDM-Material

Verfahren	Option	ABS	PC	PC-ABS	PC-ISO	NYLON 12	PPSF / PPSU	ULTEM 9085 RESIN
Epoxid	Hysol ®E-20 HP			√			√	√
	Magnolia® 6166							√
Cyanacrylat	Locite ®	√		√				
Lösungsm.	Micro-Mark®	√	√	√	√			√
Schweißen	Heißluft	√	√	√	√	√	√	√
	Ultraschall	√	√	√		√	√	√

Vorgehensweisen

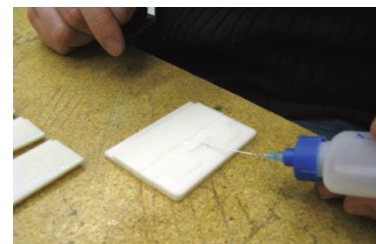
➤ **Klebstoff (Cyanacrylat & Epoxid)**

1. Klebeflächen abschleifen & mit Isopropanol (Alkohol) säubern
2. Klebemittel (2 Komponenten) vermischen
3. Klebemittel auf Klebeflächen anbringen
4. Teile an Klebeflächen zusammendrücken und halten
(empfehlenswert mit Schraubzwingen)
5. Überschuss der aus der Klebnaht gedrückt wird entfernen und
gem. Klebemittel die jeweilige Zeit aushärten lassen
6. Klebnaht für einheitliche Oberfläche abschleifen



➤ **Lösungsmittel**

1. Klebeflächen säubern
2. Lösungsmittel auf Klebeflächen anbringen
3. Teile an Klebeflächen zusammendrücken und halten
(empfehlenswert mit Schraubzwingen)
4. Bauteil 8 Std. aushärten lassen
5. Klebnaht für einheitliche Oberfläche abschleifen



➤ Heißluft-Kunststoffschweißen

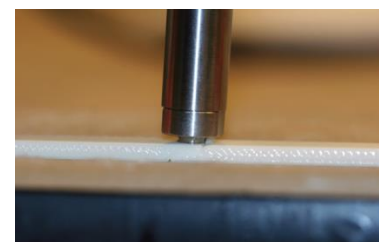
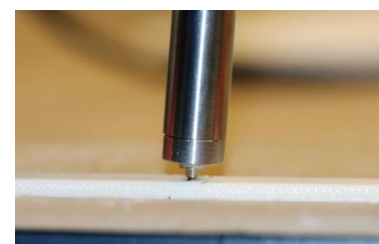
1. Klebeflächen säubern
2. Teile an Klebeflächen zusammendrücken und halten
(empfehlenswert mit Schraubzwingen)
3. Heißluftgerät gem. Temperaturtabelle aufheizen
4. Heißluftgerät & FDM Filament Material entlang der Klebnaht führen und einschmelzen lassen
5. Teile nach Auskühlen komplett gehärtet
6. Klebnaht für einheitliche Oberfläche abschleifen

Material	Temp.
ABS / Nylon12	201°
PC-ABS	246°
PC/PC-ISO	282°
PPSF/PPSU	379°
ULTEM 9085	332°



➤ Ultraschallschweißen

1. Klebeflächen säubern
2. An Testbauteil mit gleicher Dicke und Material Einstellungen des Ultraschallschweißgeräts festsetzen
3. Teile an Klebeflächen zusammendrücken und halten
(empfehlenswert mit Schraubzwingen)
4. Ultraschallschweißgerät entlang der Klebnaht langsam führen
5. Klebnaht für einheitliche Oberfläche abschleifen



Material und Zubehör

➤ Allgemein für alle Verfahren

Schleifpapier



Schraubzwingen



Isopropanol (Alkohol)



➤ Zusätzlich bei Klebe- und Lösungsmittel

Epoxidharz



z.Bsp: Hysol®E-20 HP

Cyanacrylat



z.Bsp.: Loctite® 3090

Lösungsmittel



z.Bsp.: Micro-Mark®

➤ Zusätzlich bei Heißluftschweißen

Heißluftschweißgerät



FDM-Filament



➤ Zusätzlich bei Ultraschallschweißen

Ultraschallschweißgerät



mit Horn und Spitze



Fragen?
Antworten erhalten Sie unter:
+49 (0) 9621 / 78 29 0
rapidprototyping@encee.de

Vertrieb & Support durch:
encee CAD/CAM Systeme GmbH
Falkenstraße 4
D – 92245 Kümmersbruck
Tel. +49 (0) 9621 / 78 29 0
Fax. +49 (0) 9621 /78 29 29
www.encee.de
info@encee.de

