

TECHNISCHE STUDIE

Spritzgießen mit 3D-gedruckten Formen: Eine technische Studie von einem Marktführer im Bereich Kunststoffe und Verbundwerkstoffe

Das französische technische Industriezentrum IPC (Innovation, Kunststoffverarbeitung, Verbundwerkstoffe) führte eine Forschung durch, um die Nützlichkeitsstudie von 3D-gedruckten Formen für den Spritzguss von Kleinserien zu bewerten. Dieser Bericht dokumentiert die Herstellungsschritte und Spritzgussversuche für mit Lösungen von Formlabs 3D-gedruckten Formen und hebt dabei die Ergebnisse und bewährten Praktiken hervor.

formlabs

Inhalt

Einleitung **3**
IPC 3
Referenzen 3

Design der Form **5**
Beschreibung von Teilen und Formen 5
Designleitfäden 7

3D-Druck der Formen **8**
3D-Druckharz 8
3D-Druckleitfäden 8
Scan-Metrologie 9

Einspritzung **10**
Zusammenbau der Formen 10
Bedingungen für das Spritzgussverfahren 11
Ergebnisse 11

Fazit **14**

Einleitung

Der Spritzguss ist eine kostengünstige und extrem wiederholbare Technologie für die Massenproduktion von Kunststoffteilen mit geringer Toleranz in der Geometrie und bei den Abmessungen. Die hohen Kosten traditioneller Stahl-Werkzeugausstattung machen den Spritzguss jedoch bei kleineren Teilmengen zu einer Herausforderung und können oft ein Hindernis für die Einführung eines neuen Produktes sein. Reduzierte Kosten, verkürzte Durchlaufzeiten, bessere Produktergebnisse: Für den Spritzguss von Kleinserien bieten Formen aus dem 3D-Drucker Ingenieuren, Herstellern und Produktdesignern weitreichende Vorteile. 3D-gedruckte Spritzgussformen sind eine tolle Option für jene, die mit Endverwendungsmaterialien funktionsfähige Prototypen entwerfen, eine Reihe identischer Vorproduktionsprototypen oder sogar maßgefertigte oder limitierte Reihen von Endverbrauchsteilen herstellen wollen.

IPC führte kürzlich ein Forschungsprojekt durch, um die Brauchbarkeit des Spritzgusses mit 3D-gedruckten Formen zu bewerten. Im Bericht fassen wir einige ihrer Ergebnisse zusammen, insbesondere jene zu den 3D-Druckern von Formlabs.

IPC

IPC ist das industrielle Technikzentrum in Frankreich, das sich auf Innovation im Bereich Kunststoffe und Verbundwerkstoffe spezialisiert hat. Das IPC entwickelt neue Möglichkeiten, alle Unternehmen zu unterstützen, insbesondere aber kleine und mittelständische Unternehmen. Das Zentrum arbeitet eng mit wissenschaftlichen Hauptakteuren aus Europa zusammen, um Unternehmen bei Problemen in den Bereichen F&E, Innovation, Technologie und Fähigkeitentransfer zu unterstützen, ungeachtet des verwendeten Verfahrens. IPC hat drei Technologietransfer-Programme erstellt, um die größten Herausforderungen der Branche anzugehen. Sie unterstützen Unternehmen, indem sie F&E-Fachkenntnise zur zirkulären Wirtschaft (DIS 30), Additiven Fertigung (PRINTER), Industrie 4.0 und zu hochwertigen Top-Produkten (HYPROD 2) bereitstellen. Die IPC-Teams helfen Branchen oder Herstellern mit der Durchführung von Studien, Protokolletablierung, Machbarkeitsanalysen und Technologietransfer dabei, Innovation zu fördern.

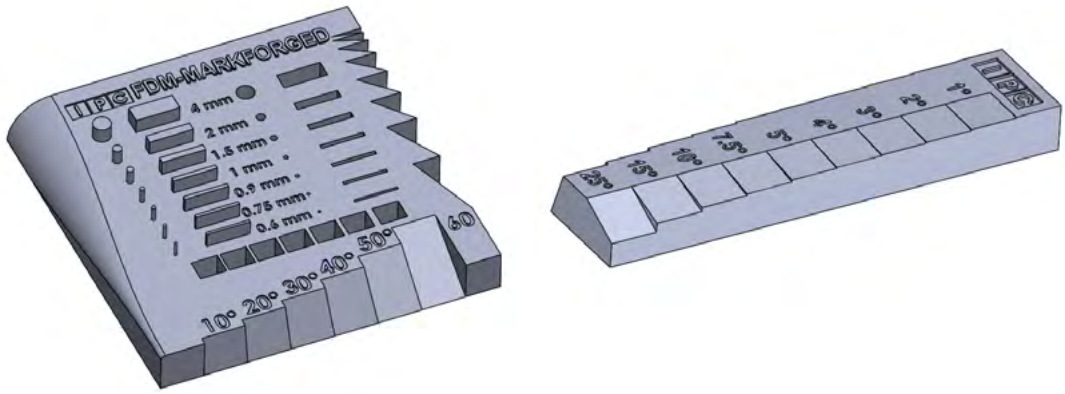
Referenzen

Das IPC-Forschungsprojekt bestand aus einer zwei Jahre langen technischen Studie, die in drei Phasen eingeteilt wurde:

1. **Vergleich von 3D-Druck-Technologien:** Aus den technischen Daten von mehreren Herstellern wurde eine erste Klassifizierung erstellt. Thermische und mechanische Daten wurden entsprechend durch die Wärmeformbeständigkeitstemperatur (HDT) und das Zugmodul bewertet. Es wurden für jede der identifizierten Technologien vier Referenztypen hergestellt, die eine Hervorhebung kritischer Eigenschaften ermöglichen, um so die drei meistversprechendsten Materialien auszuwählen. Kunstharzbasierte 3D-Drucklösungen wurden als für Spritzgussformen am besten geeignet ausgewählt, da sie hochauflösende Teile mit glatter Oberfläche produzieren.

Insgesamt wird bei allen berücksichtigten 3D-Drucktechnologien ein ähnlicher Variationsbereich bei den Abmessungen festgestellt: zwischen ± 0,02 mm und ± 0,05 mm bei kleinen Details und zwischen ± 0,05 mm und ± 0,2 mm für größere Abmessungen. Bei einem bearbeiteten Metallwerkzeug wird eine Standardgenauigkeit von ± 0,02 mm erwartet. Eine solche Präzision wird sich erhofft,

um eine gute Passung an der Trennlinie zu erzielen und Überfang zu vermeiden. In diesem Bericht wird IPC zwei Methoden vorstellen, mit denen die Trennlinie eines 3D-gedruckten Polymerwerkzeugs optimiert werden kann.

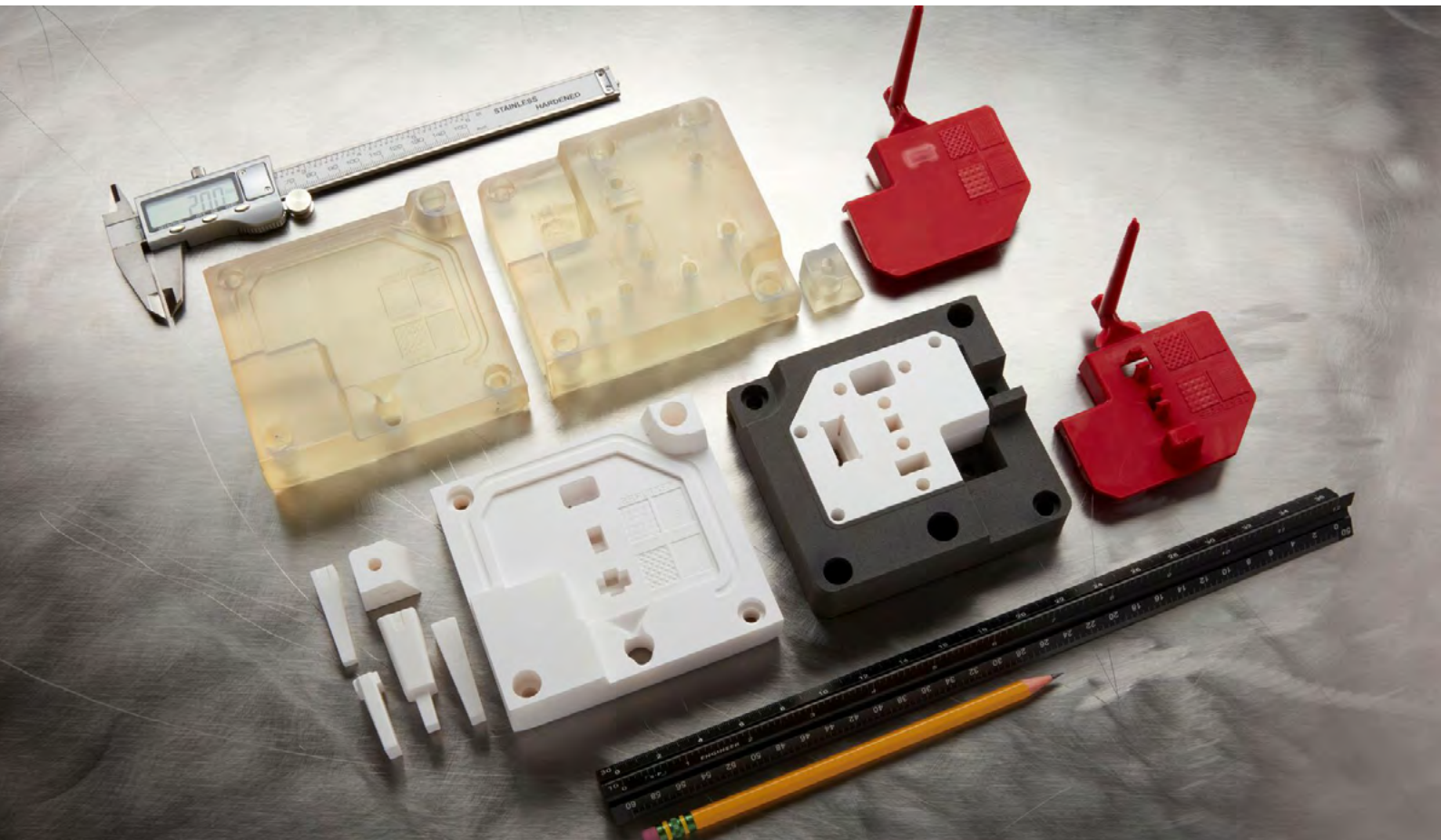


Referenzgeometrien.

2. **Materialcharaktierisierung, Entwurf und 3D-Druckleitfäden**

3. **Einspritzversuche:** IPC führte zwei Tests mit verschiedenen Formensets durch. Im ersten Versuch verwendeten sie ein „Stresstest"-Design und spritzten mithilfe einer Monomaterialform, die mit dem High Temp Resin von Formlabs gedruckt wurde, fast 100 Polypropylenteile. Im zweiten Versuch verwendeten sie ein aufwendigeres „Stresstest"-Design, spritzten diesmal aber Tausende von Polypropylenteilen mithilfe einer Multmaterialform. Kern und Einsätze wurden mit dem Rigid 10K Resin und der Rahmen mit PA12 über SLS gedruckt.

Dieses Whitepaper deckt den Teil der Studie ab, der mit 3D-Drucklösungen von Formlabs durchgeführt wurde, insbesondere die Entwurfs- und Herstellungsempfehlungen, Spritzgussbedingungen und beobachteten Ergebnisse. Der komplette Bericht ist auf Anfrage über IPC verfügbar.



Design der Form

Beschreibung von Teilen und Formen

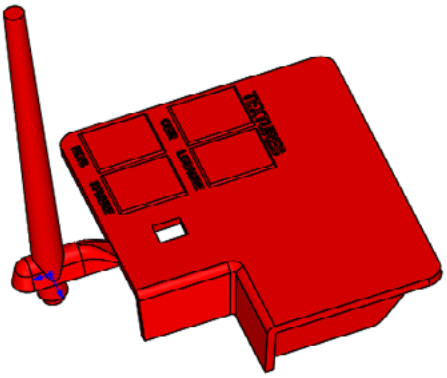


Abbildung 1

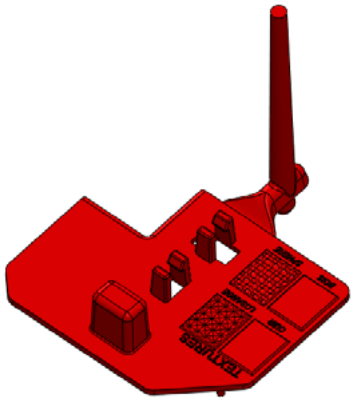
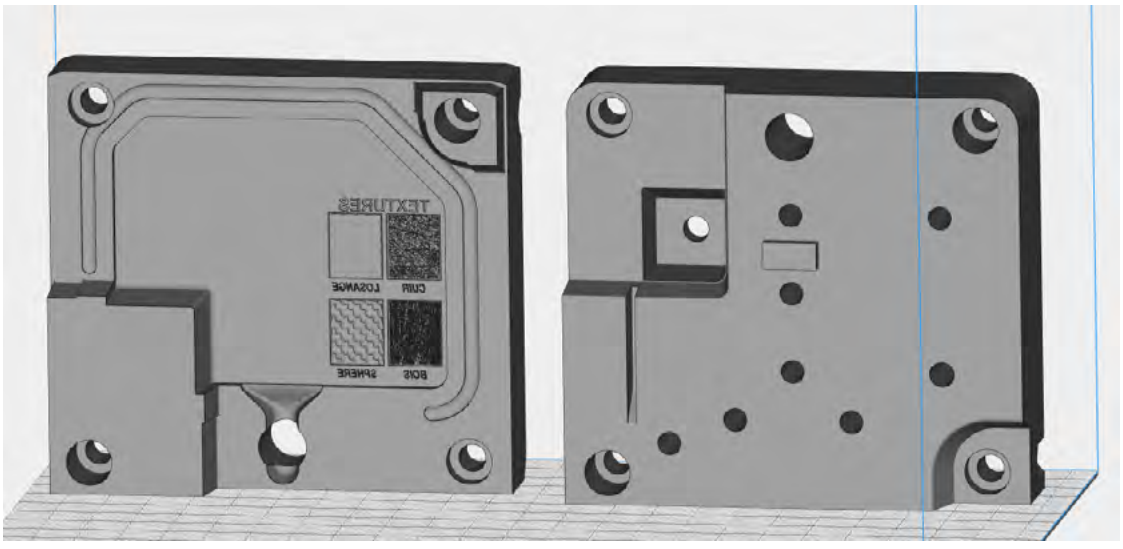


Abbildung 2

CAD-Entwurf der zwei Endprodukte: erst das Stresstestteil, spritzgegossen mit einer Monomaterialform ohne Einsätze (Abbildung 1), und dann ein Stresstestteil, spritzgegossen mit einer Multimaterialform mit Einsätzen (Abbildung 2).

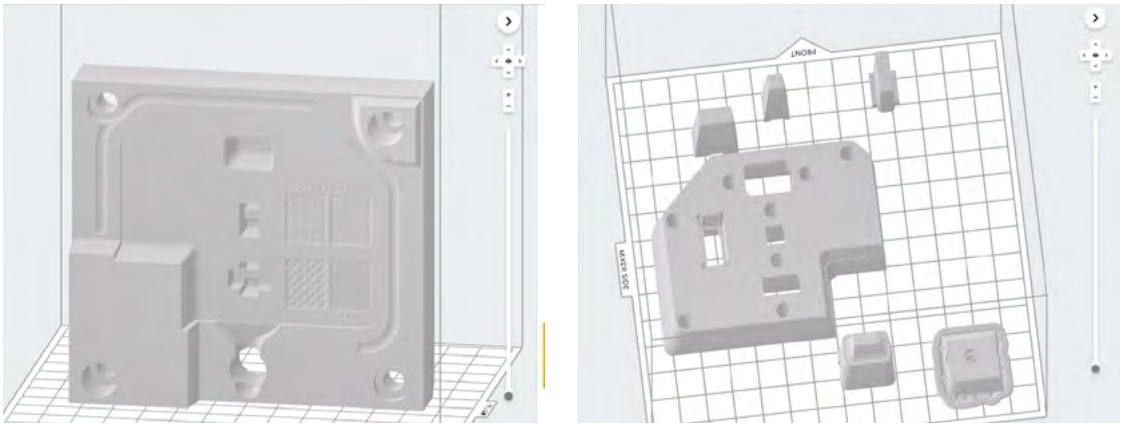
IPC hat zwei Formensets entworfen, um zwei verschiedene, herausfordernde Teile spritzzugießen. Für beide Sets wollten sie die Qualität der Trennlinie optimieren. Beide Hälften des Werkzeugs müssen mit einer Toleranz von ± 0,02 mm positioniert sein, um eine gute Passung zu erzielen.

1. **Eine Monomaterialform, gedruckt mit High Temp Resin.** Sie verfügt über eine einfache Geometrie, ohne Einsätze oder Seiteneinschübe, inklusive Texturen. Die Trennlinie wird in einem Fertigstellungsschritt nachbearbeitet, um die Trennlinie zu verbessern.



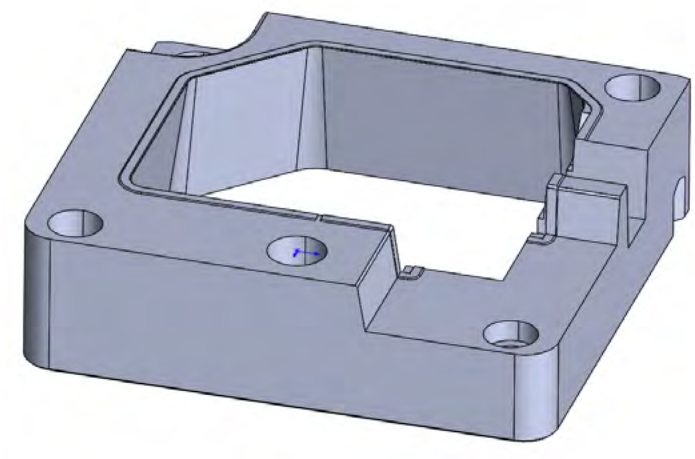
STL-Datei der Monomaterialform, gedruckt mit High Temp Resin, in die Druckvorbereitungssoftware PreForm geladen. Feststehende Seite (links) und bewegliche Seite (rechts).

2. **Eine Multimaterialform:** Die feststehende Seite der Form wird mit Rigid 10K Resin gedruckt und enthält Texturen. Die bewegliche Seite wird aus einem Kern und vier Einsätzen hergestellt, die mit Rigid 10K Resin gedruckt werden, sowie einem Rahmen, der mit PA12 über die Technologie Selektives Lasersintern (SLS) gedruckt wird. Der weiche Rahmen wird mit einer Polsterung entworfen, um die Abmessungsabweichungen von der Trennlinie zu kompensieren. PA12 ist flexibel genug, um die Abmessungsverteilung während des Einspannens der Form zu absorbieren. Dennoch sollte SLS nur zum Druck des Rahmens und nicht für die gesamte Form genutzt werden, da die Auflösung für Spritzgussoberflächen nicht hoch genug ist und die Form bei hohen Temperaturen schmilzt.

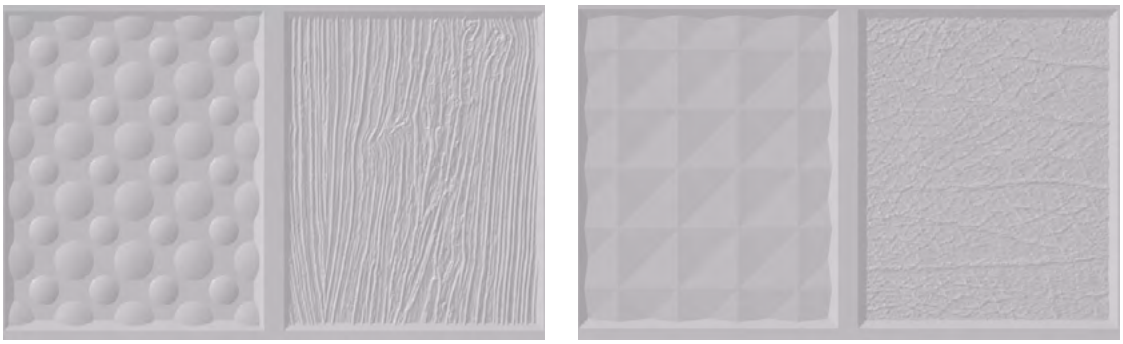


STL-Dateien der Multimaterialform, in die Druckvorbereitungssoftware PreForm geladen: feststehende Seite (links) und Kern sowie Einsätze der beweglichen Seite (rechts), gedruckt mit Rigid 10K Resin.

Diese Geometrie ist etwas herausfordernder, wenn es um die Testung des Widerstands von Einsätzen mit geringer Dicke geht. Zwischen Kern und Rahmen besteht eine Entformungsschräge von 3 Grad, um die Montage zu erleichtern. Der Rahmen wurde mit einem Aufmaß von 0,05 mm erstellt, um eine bessere Passung zu ermöglichen.



CAD-Entwurf des PA12-Rahmens für die bewegliche Seite der Multimaterialform.



CAD-Datei der Formen, Ansicht der Texturen ähnlich für beide Werkzeugsets. Von links nach rechts. (1) Große Kugel, 1,82 mm Radius und 0,3 mm Höhe. Kleine Kugel 1,09 mm Radius und 0,3 mm Höhe. (2) Holz: 0,25 mm Höhe. (3) Pyramide: 0,3 mm Seite und 0,2 mm Tiefe. (4) Leder: 0,14 mm Höhe.

Designleitfäden

IPC hat ein paar Designiterationen durchgeführt und die folgenden bewährten Praktiken empfohlen:

- Planen Sie Aufmaße für die gedruckte Form ein, und bearbeiten Sie sie, um die Abmessungen anzupassen.
- Vermeiden Sie Kerne mit kleinen Abschnitten: Teile mit Abschnitten, die kleiner als die Höhe sind, könnten dem Druck und der Temperatur nicht standhalten. IPC rät dazu, mehrere Einsätze für dünne, überhängende Teile zu drucken (diese können im Fall von Misserfolg ersetzt werden) oder die Kleinteile aus Metall herzustellen.
- Design mit Abmessungen, die größer als 400 mm sind, könnten herausfordernd sein. Da die Abmessungsabweichung sich mit der Größe erhöht, wird es schwieriger, eine Formpassung zu erreichen.
- Erhöhen Sie Entformungsschrägen und Überhangwinkel (10° bis 20°), um eine Deformierung zu vermeiden.
- Integrieren Sie keine Kühlkanäle in den Formentwurf. Da der Hitzetransfer bei Kunststoffteilen langsamer ist als bei Metallteilen, würden Kühlkanäle nicht ausreichend Einfluss auf die Temperatur haben, um die für den Entwurf dieses Systems aufgebrachte Zeit zu rechtfertigen. Eine Regulierung könnte im Fall herausfordernder Designs oder Materialien vorteilhaft sein, aber das muss weiter erforscht werden.

3D-Druck der Formen

3D-Druckharz

Die Formen wurden mit einem Form 3 Drucker 3D-gedruckt und mit Form Wash- und Form Cure-Stationen nachbehandelt. IPC druckte zwei verschiedene Formensets:

1. **Eine Form aus High Temp Resin,** gedruckt mit einer Schichthöhe von 25 Mikrometer, gewaschen in IPA für 6 Minuten, nachgehärtet bei 80 °C für 120 Minuten und thermisch nachgehärtet bei 160 °C für drei Stunden. Dieses Stereolithografie (SLA)-Material weist eine Wärmeformbeständigkeitstemperatur (HDT) von 238 °C bei 0,45 MPa auf – die höchste von allen Formlabs-Kunstharzen und eine der höchsten unter Harzen auf dem Markt. Dies ermöglicht, hohen Spritzgießtemperaturen zu widerstehen und dabei die Abkühlzeit zu minimieren.

2. **Kern und Einsätze aus Rigid 10K Resin,** gedruckt mit einer Schichthöhe von 50 Mikrometer, zweimal gewaschen in IPA für 10 Minuten, nachgehärtet bei 70 °C für 60 Minuten und thermisch nachgehärtet für 90 Minuten bei 125 °C, für eine höhere Wärmeformbeständigkeitstemperatur. Dieses SLA-Kunstharz ist ein intensiv glasfaserverstärktes Material in Industriequalität, das ein ideales Spritzgussmaterial für eine breite Palette an Geometrien und Spritzgussverfahren darstellt. Rigid 10K Resin verfügt über eine Wärmeformbeständigkeitstemperatur von 218 °C bei 0,45 MPa und ein Zugmodul von 10 000 MPa und ist dadurch ein sehr starkes, extrem starres und wärmebeständiges Spritzgussmaterial, das seine Form unter Druck und Temperatur behält, zur Herstellung von präzisen Teilen. Der Rahmen der Form wurde mittels SLS-Technologie mit PA12 gedruckt.

3D-Druckleitfäden

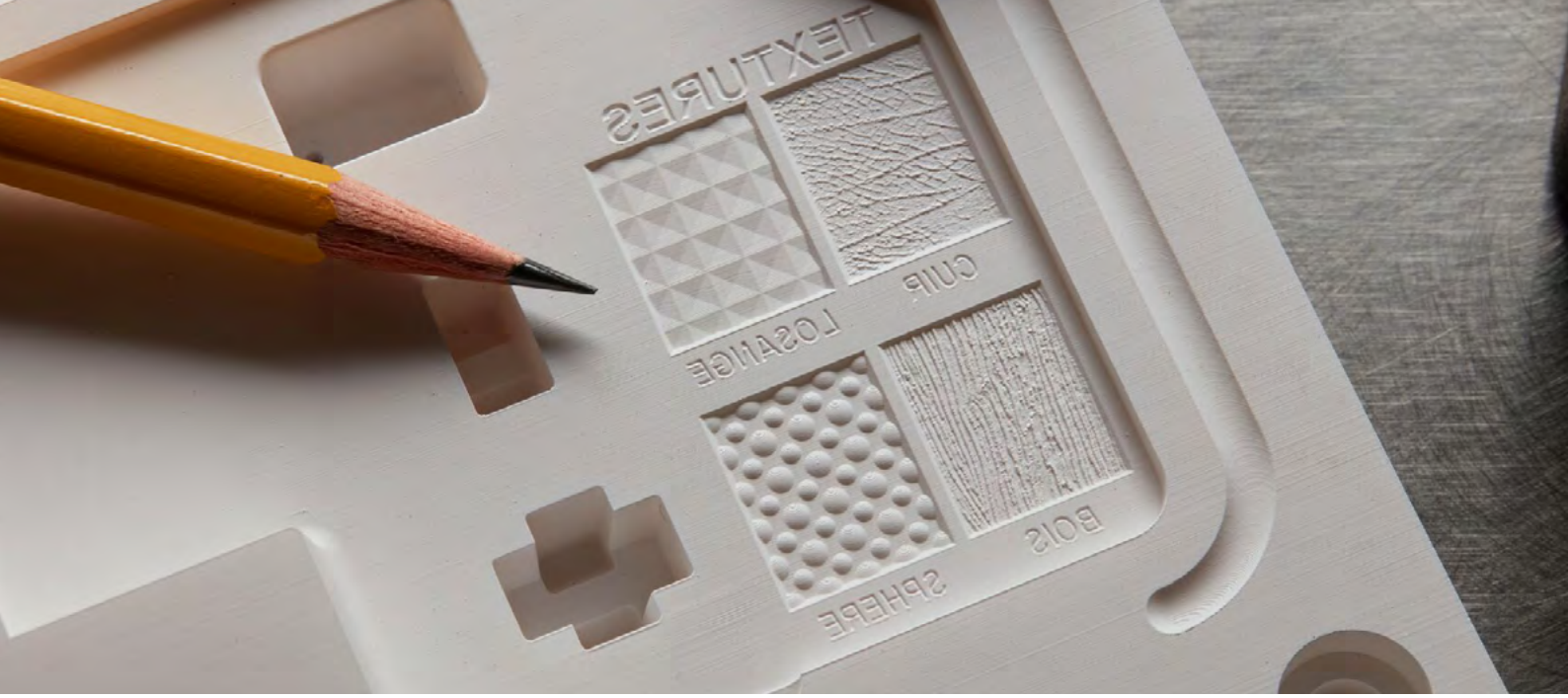
Nach ein paar Iterationen empfiehlt IPC die folgenden bewährten 3D-Druck-Praktiken:

- Drucken Sie mit Rigid 10K Resin, um die Langlebigkeit der Form zu erhöhen.
- Verwenden Sie geringere Schichthöhen, um eine bessere Auflösung zu erhalten. SLA-Druck ermöglicht sehr feine Texturen.
- Drucken Sie die Form, wenn möglich, flach und ohne Stützstrukturen, um eine bessere Abmessungsgenauigkeit zu erhalten und Verzug zu vermeiden.



Form, gedruckt mit Rigid 10K Resin, feststehende Seite auf der Konstruktionsplattform

- Richten Sie die Form aus, um überhängende Teile zu reduzieren.
- Drucken Sie, wenn möglich, beide Hälften so, dass sie in Baurichtung ausgerichtet sind. Potenzielle Größenabweichungen werden gleichmäßiger und verbessern die Qualität der Trennlinie.
- Stellen Sie die 3D-gedruckte Form mittels Bearbeitung fertig. Passen Sie insbesondere die Trennlinie an, um beide Hälften der Form zusammenzuführen und Überfang zu vermeiden. Durchmesser tendieren zu Verformungen, was Bohrlöcher notwendig machen könnte.

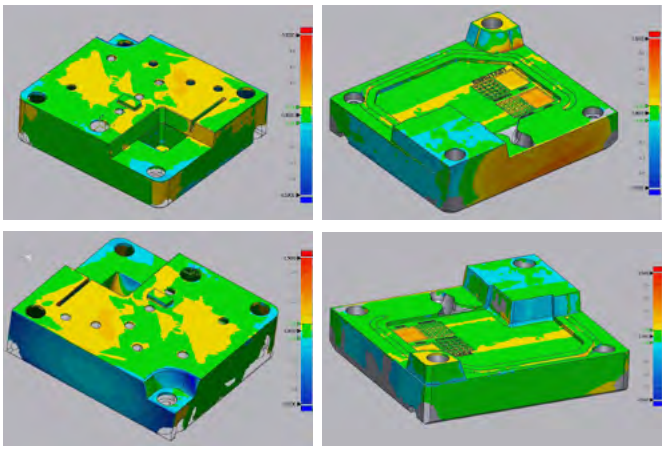


Texturen, die auf der Form aus Rigid 10K Resin gedruckt wurden.

Scan-Metrologie

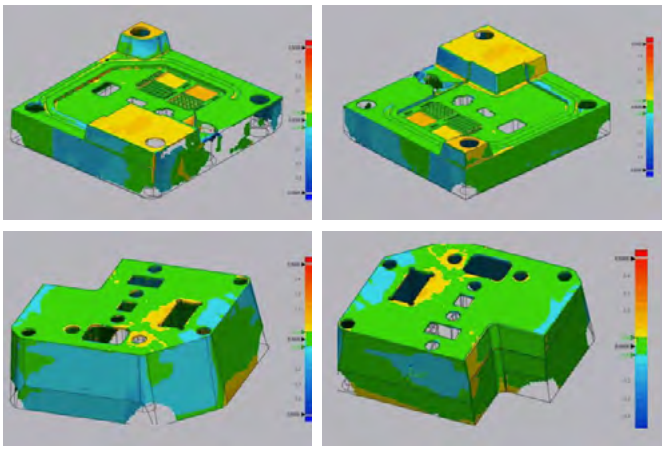
IPC hat die gedruckten Formen direkt nach dem Druck und der Nachhärtung gescannt, um die Abmessungsabweichung auszumessen. Diese Scans zeigen bei mehr als 75 % des Teils eine Abweichung von weniger als ±0,05 mm.

HIGH TEMP RESIN



Scans der mit High Temp Resin 3D-gedruckten Form: dynamische Seite (links) und feststehende Seite (rechts).

RIGID 10K RESIN

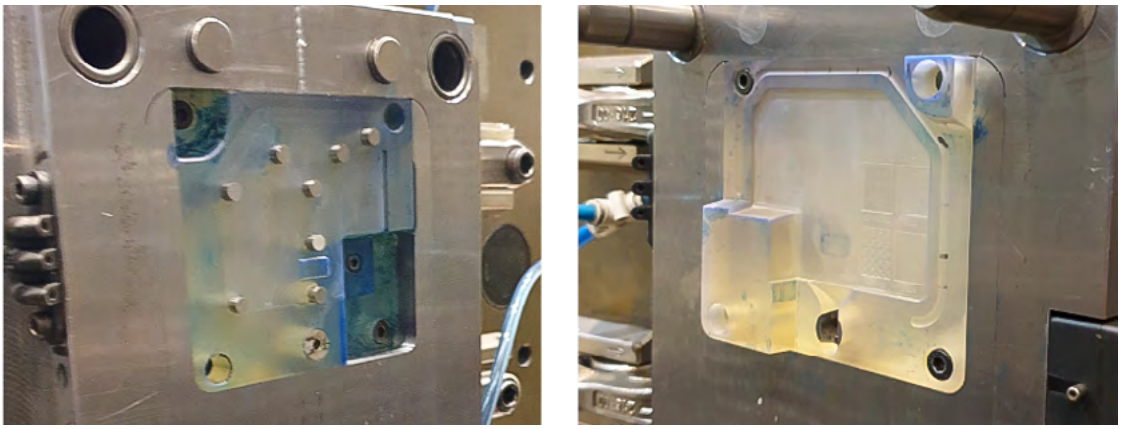


Scans der mit Rigid 10K Resin 3D-gedruckten Form: dynamische Seite (links) und feststehende Seite (rechts).

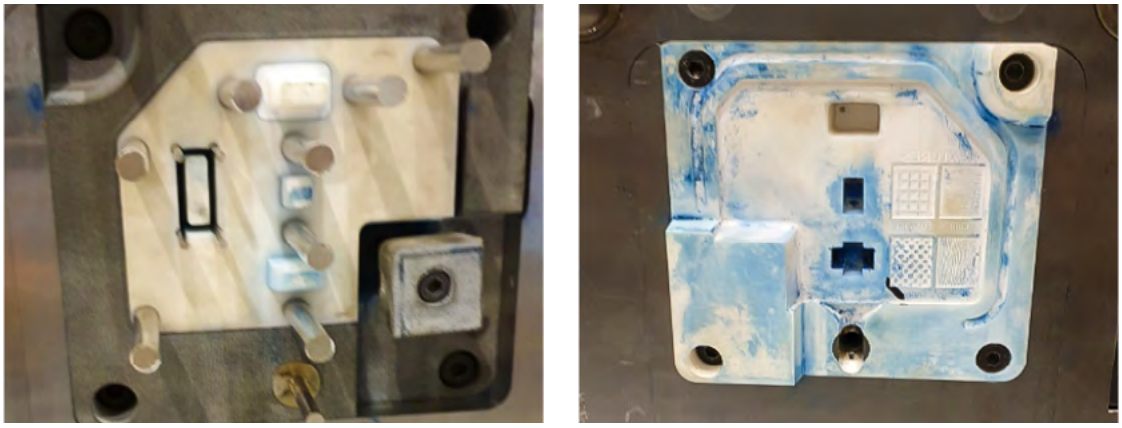
Einspritzung

Zusammenbau der Formen

Wie oben erwähnt wird empfohlen, die 3D-gedruckte Form zu bearbeiten, bevor sie zusammengebaut wird, um die kritischen Abmessungen zu erfüllen. Die Multimaterialform musste aber nicht bearbeitet werden, da die weiche Trennlinie im PA12 die Abmessungsabweichungen absorbieren konnte. Auswerferstifte oder Einsätze können hinzugefügt werden. IPC rät dazu, mehrere Einsätze zu drucken, da dünne, überhängende Teile leichter brechen können. Diese können im Falle von Misserfolg einfacher ersetzt werden. Die Bearbeitung und Montage von Formen sind empfindliche Abläufe, die mit Vorsicht durchgeführt werden müssen, da 3D-Druckteile während der Behandlung brechen könnten. Die 3D-gedruckten Formen sollten in einem Metallstumpf oder einer Ursprungsform platziert werden, um dem Druck unterstützend entgegenzuwirken.



Mit High Temp Resin gedruckte Form, montiert im Metallstumpf. Bewegliche Seite mit Auswerferstiften (links) und feststehende Seite (rechts).



Mit Rigid 10K Resin gedruckte Form, montiert im Metallstumpf. Bewegliche Seite mit Auswerferstiften, Einsätzen, SLS-Rahmen (links) und feststehende Seite (rechts).

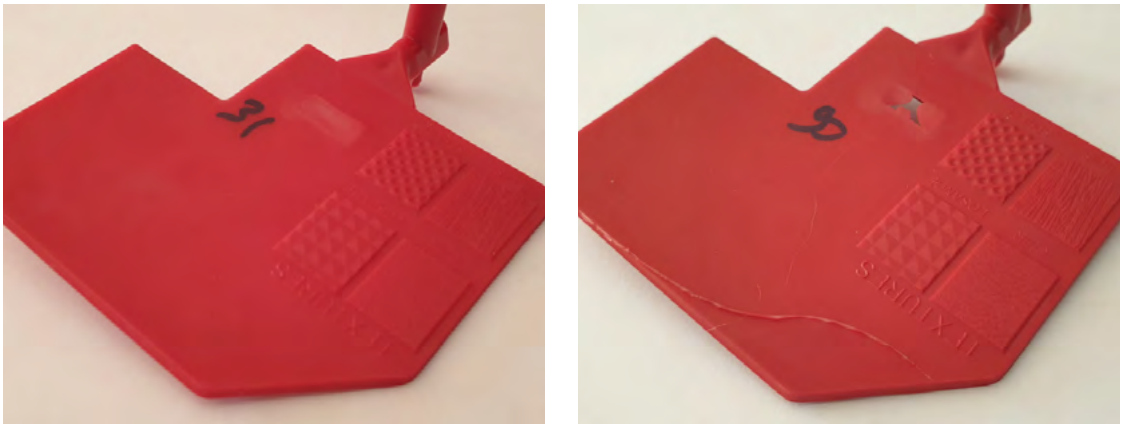
Bedingungen für das Spritzgussverfahren

Das Team spritzte Tausende Teile unter Berücksichtigung folgender Spritzgussbedingungen:

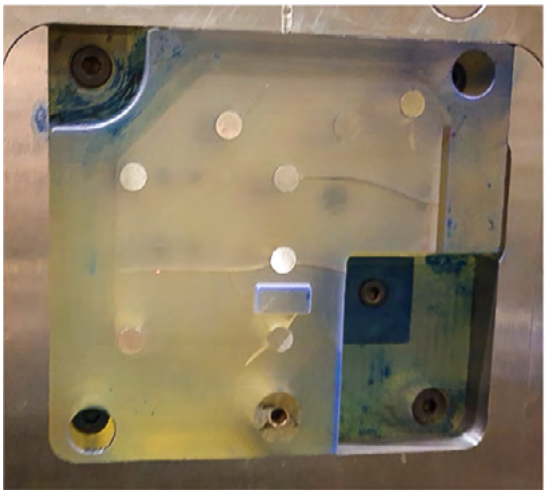
- Spritzgießmaschine: industriell, ENGEL 150T
- Gespritztes Material: Polypropylen (PP)
- Einspritztemperatur: 200 °C
- Einspritzdruck: 180 Bar
- Einspannkraft: 125 kN
- Trennmittel: keines
- Kühlsystem: keines. Die Temperatur wurde mit einer Wärmebildkamera kontrolliert und der Zyklus erst begonnen, als die Temperatur der gedruckten Form unter 36 °C war.
- Auswurf: automatisch mit Auswerferstiften und Roboterarm zur Bewegung des Teils
- Zyklus: 150 Sek.

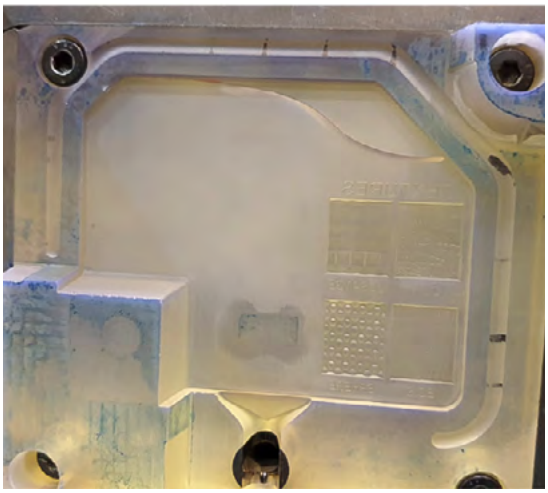
Ergebnisse

IPC spritzte 90 Polypropylenteile mit der mit High Temp Resin gedruckten Monomaterialform. Die gespritzten Teile wiesen eine hochqualitative Oberflächenbeschaffenheit und einen hohen Detailgrad auf. Dennoch begann die Form nach 31 Iterationen zu reißen, was die Oberflächenqualität der verbleibenden Spritzgussteile beeinträchtigte.



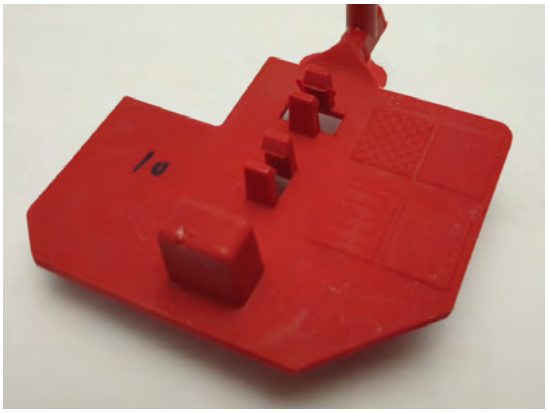
Teil Nummer 31 (links), Teil Nummer 90 (rechts), spritzgegossen mit einer Form aus High Temp Resin.

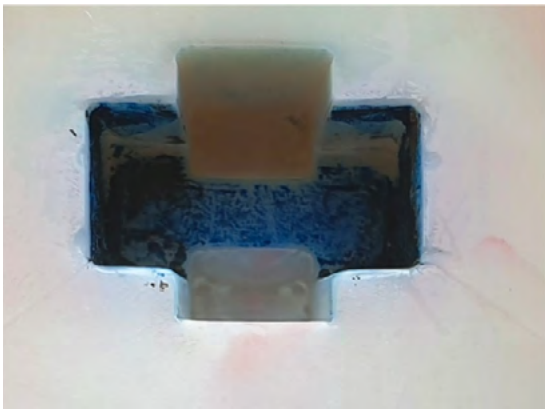




Form aus High Temp Resin nach 90 Einspritzungen.

IPC spritzte 1000 Polypropylenteile mit der mit Rigid 10K Resin gedruckten Multimaterialform. Die gespritzten Teile wiesen eine hochqualitative Oberflächenbeschaffenheit und einen hohen Detailgrad auf. Nach 900 Spritzvorgängen beobachteten Sie einen leichten Überfang von den ersten Einspritzungen und kleine Risse um die Kern-Clips. An der Angussstelle trat ebenfalls eine Aufhellung auf.



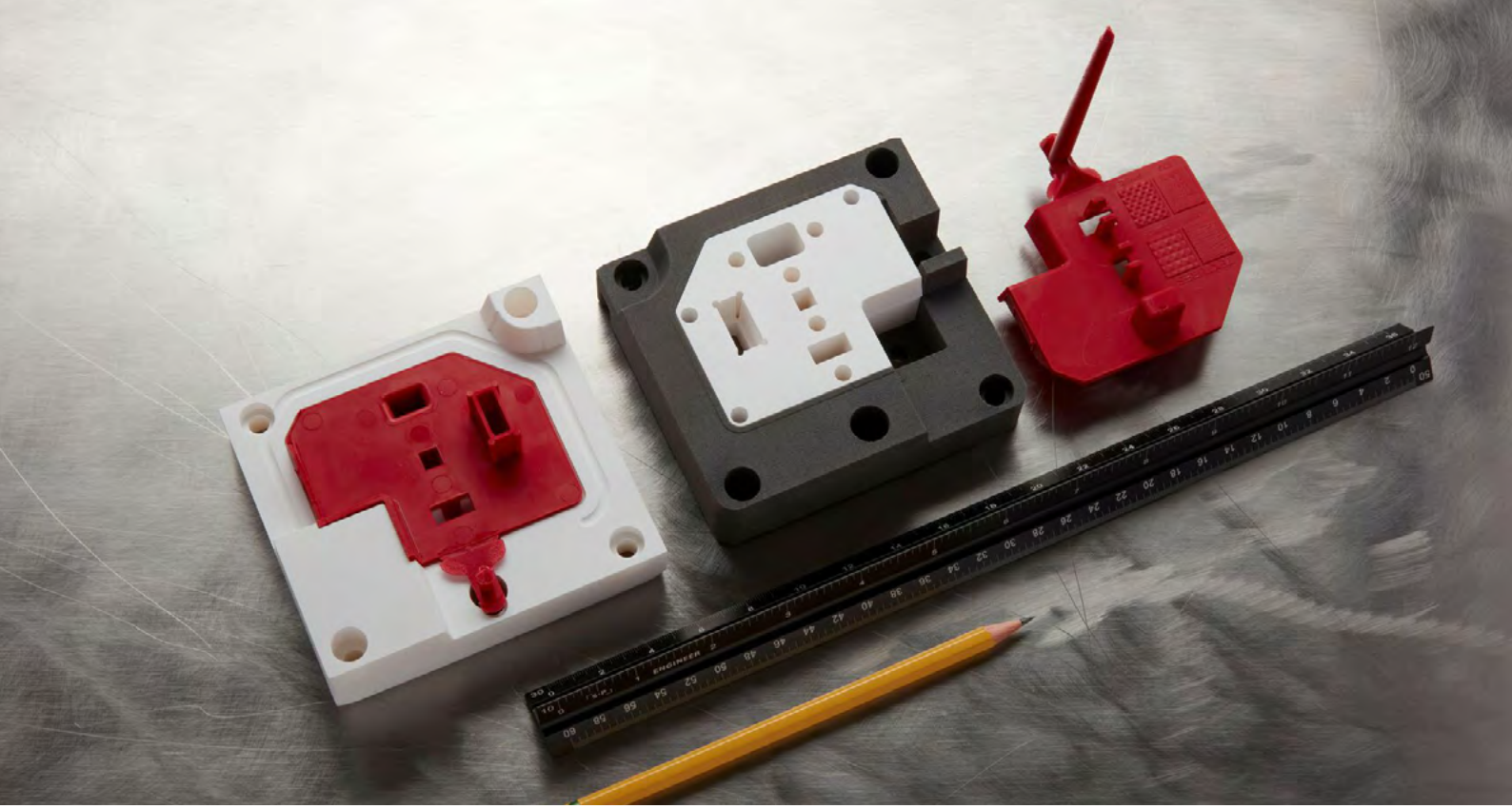


Leichter Überfang am Endprodukt (links) und kleine Risse nach 900 Spritzvorgängen am Kern aus Rigid 10K Resin.



Texturen auf den mit einer Multimaterialform gespritzten Endprodukten.

IPC empfiehlt die Wahl von Rigid 10K Resin, um die Langlebigkeit der Form zu erhöhen. Es ist weniger spröde und weist unter Belastung eine bessere Festigkeit als High Temp Resin auf. Die 3D-gedruckte Form sollte bearbeitet werden, um die Genauigkeit der Trennlinie zu verbessern und Überfang zu reduzieren. Alternativ stellt die Nutzung einer Multimaterialform mit einem weichen Rahmen eine tolle Lösungsmöglichkeit dar, um die Abmessungsabweichungen zu kompensieren. IPC erwartet, dass der Spritzgussprozess mit dickflüssigen Materialien wie Polycarbonat (PC) und Einspritztemperaturen über 240 °C herausfordernder wird.



Fazit

IPC bewertete die Nützlichkeit von 3D-gedruckten Formen für den Spritzguss von Kleinserien. Mit einem Formenkern, gedruckt mit dem Rigid 10K Resin von Formlabs, und einem weichen Rahmen, gedruckt mit PA12, konnten sie Tausende von Teilen aus Polypropylen spritzen und dabei die Kosten einer Metallform um 80 bis 90 % senken.

Der Desktop-3D-Druck ist eine leistungsstarke Lösung zur raschen und kostengünstigen Herstellung von Spritzgussformen. Er stellt geringe Anforderungen an die Geräte und ermöglicht Einsparungen bei CNC-Zeiten und qualifizierten Arbeitskräften, die für andere anspruchsvolle Aufgaben genutzt werden können. Er kann nahtlos in jeden Spritzguss-Arbeitsprozess integriert werden, dank seiner einfachen Implementierung, Bedienung und Wartung. Die Hersteller profitieren von der Geschwindigkeit und Flexibilität des betriebsinternen 3D-Drucks zur Anfertigung von Formen und kombinieren diesen mit der Leistungsfähigkeit des industriellen Spritzgießens, um Serien aus herkömmlicher Thermoplaste in wenigen Tagen zu liefern.

formlabs
AUTHORIZED PARTNER