



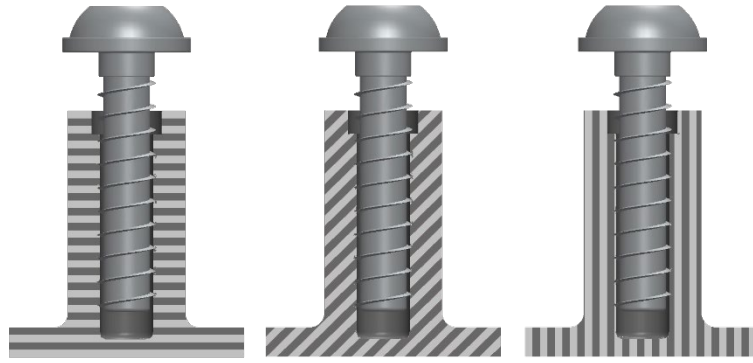
Christian Held, M.Sc.

Direktverschrauben von additiv gefertigten Kunststoffbauteilen

Die additive Fertigung gewinnt stetig an Bedeutung, kommt aber weiterhin hauptsächlich im Prototypenbau, der Herstellung von funktionsnahen Modellen und in der Kleinserie zum Einsatz. Die verschiedenen werkzeuglosen Verfahren der additiven Fertigung sind sehr flexibel und bieten eine hohe gestalterische Freiheit. Dadurch ist die additive Fertigung besonders für funktionsintegrierte und topologieoptimierte Bauteile prädestiniert. Zudem kann die additive Fertigung durch die werkzeuglose Fertigung kurzfristig auf die immer schneller wechselnden Märkte reagieren. Der wesentliche Nachteil der Technologie liegt hingegen weiterhin in den langen Fertigungszeiten und dem überproportionalen Verhältnis aus Anschaffungskosten zu Baumraumgröße. Eine Serienfertigung ist somit weiterhin nur begrenzt umsetzbar.

Eine Möglichkeit, additiv gefertigte Bauteile sinnvoll in eine Serienfertigung zu integrieren, besteht darin, additive Bauteile mit anderen Bauteilen zu Baugruppen zusammenzufügen. Hier sticht besonders die Direktverschraubung hervor. Die Direktverschraubung ist die am meisten genutzte mechanische Füge-technik und ermöglicht das Fügen artfremder Werkstoffe ohne thermischen Einfluss. Zudem wird für den Fügeprozess nur eine einseitige Zugänglichkeit benötigt. Bei der Direktverschraubung kommen gewindefurchende oder -schneidende Schrauben zum Einsatz, die in ein vorgefertigtes Kernloch eingeschraubt werden. Beim Verschraubungsprozess furcht oder schneidet die Schraube ihr eigenes Gewinde. Die Direktverschraubung wird dabei durch hohe Verbindungsfestigkeiten und geringe Anschaffungskosten ausgezeichnet.

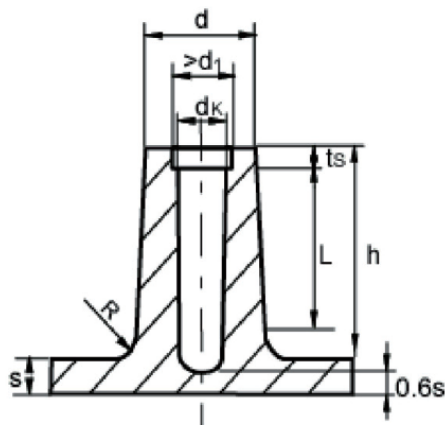
Die Problematik bei der Verbindung der beiden Technologien liegt darin, dass für die Direktverschraubung von additiv gefertigten Kunststoffbauteilen bisher keine Richtlinien oder Anwendungsempfehlungen vorliegen. Während für spritzgegossene thermoplastische Werkstoffe Richtlinien und auch erste Empfehlungen für spritzgegossene duroplastische Werkstoffe vom Deutschen Verband für Schweißen und verwandte Verfahren (DVS) vorliegen, konnte in Voruntersuchung zu dem Forschungsprojekt gezeigt werden, dass diese Richtlinien nur bedingt für additiv gefertigte Kunststoffbauteile angewandt werden können. Der Grund dafür liegt in der hohen, fertigungsbedingten Anisotropie von additiv gefertigten Kunststoffbauteilen, welche in der folgenden Abbildung anhand von Schraubdomen dargestellt wird.



Fertigungsrichtung bedingte Anisotropie durch schichtweisen Aufbau von additiv gefertigten Kunststoffbauteilen am Beispiel von Schraubdomen. Schichtaufbau von links nach rechts in 0°, 45° und 90°.

Das Ziel des Forschungsprojekts ist es, über experimentelle Untersuchungen Gestaltungs- und Fertigungsempfehlungen für die Direktverschraubung von additiv gefertigten Kunststoffbauteilen zu erarbeiten. Untersucht werden dabei die Fertigungsverfahren Fused Deposition Modelling (FDM), Kunststoff Freiformen (KF) und selektives Lasersintern (SLS). Um Rückschlüsse auf die Auswirkung der Anisotropie der Bauteile zu gewinnen, werden die Schraubdomen in den Ausrichtungen 0°, 45° und 90° gefertigt.

Für die erste Charakterisierung von additiv gefertigten Schraubdomen wird zunächst eine Geometrie in Anlehnung an die Standardgeometrie für spritzgegossene Schraubdomen aus der DVS Richtlinie 2241 gewählt. Die empfohlene Geometrie in Abhängigkeit von dem Schraubennendurchmesser d_1 kann der folgenden Abbildung entnommen werden.



- d_A = Aussendurchmesser
- s = Wanddicke
- d_K = Kernlochdurchmesser
- l_E = Einschraublänge
- h = Tubushöhe
- t_s = Tiefe der Entlastung
- d_1 = Schraubendurchmesser
- d_2 = Gewindekerndurchmesser
- d_{KA} = Schraubenkopfdurchmesser
- α = Gewindeflankenwinkel
- P = Gewindesteigung
- L = Schraubenlänge

$$d_A \geq 2 * d_1$$

$$d_K = (0,8 \text{ bis } 0,9) * d_1$$

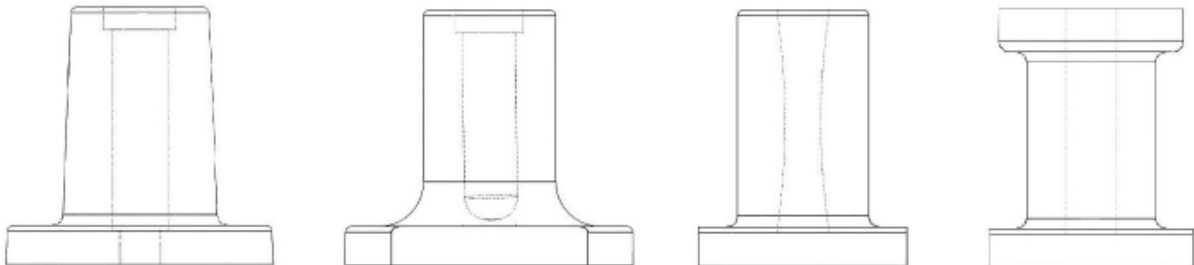
$$l_E \geq 2 * d_1$$

$$t_s \sim 0,4 * d_1$$

Schraubdomengeometrie nach DVS-Richtlinie 2241 mit den wichtigsten Geometrieparametern und den entsprechenden Größeneempfehlungen in Abhängigkeit vom Schraubennendurchmesser.

Mit der gezeigten Geometrie werden erste Verschraubungsuntersuchungen durchgeführt und auf die Qualitätsmerkmale Prozesssicherheit, Auszugsfestigkeit der Schraube und Vorspannkraftrelaxation geprüft. Für die Beurteilung der Merkmale dienen Vergleichsuntersuchungen mit spritzgegossenen Domen als Referenz. Ausgehend von den Ergebnissen werden in den nächsten Schritten des Projekts verschiedene Optimierungsschritte eingeleitet. Hierfür werden zunächst die Fertigungsparameter variiert, um den Einfluss der Fertigungsverfahren auf die Verbindungsqualität zu prüfen. Anschließend wird die konstruktive Freiheit der additiven Fertigung genutzt, um geometrische Optimierungen an den Schraubdomen durchzuführen. Dafür wird als Erstes die Standardgeometrie genauer

überprüft, um einflussreiche Geometriemerkmale zu identifizieren. Im Anschluss daran werden neue innovative Gestaltoptimierungen an den Domen vorgenommen und überprüft. Vielversprechende Varianten werden dabei nach Möglichkeit noch in Kombination geprüft. Eine Auswahl an Beispielen für die Geometrieoptimierungen können der nachfolgenden Skizze entnommen werden.



Auswahl von innovativen Geometrieoptimierungen von additiv gefertigten Schraubdomen. Von Links nach Rechts: Standard Spritzgussdom, Dom mit erhöhtem Radius zum Bauteil, Dom mit konkavem Kernloch und Dom mit Verstärkungskragen.

Ausgehend von den Untersuchungsergebnissen sollen abschließend Abminderungsfaktoren für ein Modell entwickelt werden. Das Modell soll dabei einen Vergleich zwischen additiv gefertigten und spritzgegossenen Schraubdomen ermöglichen, um Produkte aus dem additiven Prototypenbau in die Spritzgusserienfertigung zu überführen. Gleichermäßen sollen so auch spritzgegossene Produkte leichter in die additive Fertigung überführt werden können, wenn eine Funktionsintegration gefordert wird. Abschließend werden ausgehend von dem Modell und den Untersuchungen generelle Gestaltungs- und Fertigungsempfehlungen für die Direktverschraubung von additiv gefertigten Kunststoffbauteilen formuliert.

Danksagung

Wir danken der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e. V. (AiF) (IGF-Nr. 21902 N) für die finanzielle Förderung der Arbeiten, die aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) erfolgt. Zudem bedanken wir uns für die Unterstützung der Unternehmen aus dem projektbegleitenden Ausschuss.