

Schlussbericht

(wird auf Anfrage Dritten zur Verfügung gestellt)

Zuwendungsempfänger:

Schwarzpunkt Schwarz GmbH & Co KG

Förderkennzeichen:

02PJ2375

Förderprogramm:

Großserientaugliches Herstellverfahren für neuartige elektrische Axialflussmotoren (GroAx)

Titel des Vorhabens:

Konstruktive Auslegung und Werkzeugentwicklung für den Statorverguss durch Spritzgießen

Projektleiter/ Projektleiterin:

Ingo Schwarz

Tel.: 08105/2730-60

E- Mail: is@schwarzpunkt.de

Laufzeit des Vorhabens von: 01.09.2012

bis: 30.06.2014

Verfassen Sie bitte einen kurzen **Schlussbericht** zu Ihrem Vorhaben unter Verwendung nachfolgender Gliederung und fügen diesen als **Anlage** bei:

1. Aufgabenstellung
2. Voraussetzung unter der das Vorhaben durchgeführt wurde (z.B. Ressourcen, Einbindung in die Unternehmensstrategie, Vorarbeiten und Vorkenntnisse, etc.)
3. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn und Ende des Vorhabens
4. Planung und Ablauf des Vorhabens (z.B. Planabweichung, Probleme bei der Durchführung, etc.)
5. Erzieltes Ergebnis (ggf. durch Bilder, Diagramme oder Grafiken ergänzen)
6. Nutzen für das Unternehmen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses
7. Zusammenarbeit mit anderen Stellen oder außerhalb des Verbundprojektes (Schulung, Beratung, Erfahrungsaustausch u. a.)
8. Darstellung des während des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen
9. Veröffentlichungen, Vorträge, Referate, etc.

Gilching, 24.09.14

Ort und Datum

Stempel, rechtsverbindliche Unterschrift

Anlage

1. Aufgabenstellung

Das Gesamtziel des Verbundprojektes liegt darin, das Produktions- und Herstellverfahren für das elektrische Antriebssystem Dynax dahingehend zu optimieren, dass eine wirtschaftliche Großserienfertigung ermöglicht wird. Das bedeutet, dass die einzelnen Komponenten des Dynax-Motors im Rahmen der Arbeitspakete überarbeitet und optimiert werden.

Der Schwerpunkt des Teilvorhabens von Schwarzpunkt lag auf Arbeitspaket 3 (Umspritzung Stator mittels Duroplast-Spritzgießwerkzeug). Der Stator und die Tangentialwicklung sollten mit Hilfe eines Duroplast-Spritzgießwerkzeuges umspritzt werden. Ziel war es, die Prozesszeit zu reduzieren, einen reproduzierbaren Prozess zu entwickeln sowie die technischen Eigenschaften zu verbessern und abzusichern.

2. Voraussetzung unter der das Vorhaben durchgeführt wurde

Schwarzpunkt ist seit über 60 Jahren auf die Fertigung von hochpräzisen Kunststoffteilen aus Duro- und Thermoplasten sowie aus diesen Teilen gefertigten Baugruppen spezialisiert. Hierbei werden für Duroplaste die Verfahren Pressen, Spritzpressen und Spritzgießen eingesetzt. Die hier hergestellten Teile kommen hauptsächlich in der Automobil- und Elektroindustrie zum Einsatz. Neuerdings kommen Anwendungen im Maschinenbau, in der Luftfahrt und der Versorgungstechnik hinzu.

Schwarzpunkt arbeitet mit dem Kunden bereits sehr früh, also bei der Bauteil-Entwicklung, partnerschaftlich zusammen und stellt auf diese Weise sicher, dass werkstoff- und prozessspezifische Besonderheiten sehr früh in das Bauteil einfließen. Es ist selbstverständlich, dass für die Duroplast-Produkte sämtliche Folgeprozesse (z. B. Strahlentgraten, Trowalisieren, Tempern, Schleifen) mit angeboten werden und auf Wunsch auch Montageschritte bis hin zur Baugruppenmontage und 100%-Prüfung (z. B. durch spezielle Kamera-Systeme) abgedeckt werden.

Insbesondere im Bereich Duroplaste wird konsequent die Substitution von Metallteilen verfolgt. Hierzu stehen nicht nur die üblichen CAD-Tools zur Teileformung zur Verfügung, sondern es werden dem Kunden, durch den Einsatz vorhandener Simulationstools, auch Finite-Elemente-Berechnungen angeboten und die Bauteilchancen bzw. -risiken mittels Füllbildsimulation aufgezeigt.

Diese Art der Umspritzung bzw. Ummantelung von komplexen Baugruppen ist bisher nicht Teil der Aufgaben des Unternehmens gewesen. Sie verspricht jedoch einen neuen Anwenderkreis und für uns ein Alleinstellungsmerkmal. Daher ist die Technologie als mögliche Erweiterung unseres Geschäftsfeldes mit in die Strategieplanung aufgenommen worden.

Da im Vergleich zu thermoplastischen Lösungen von reduziertem Energieeinsatz ausgegangen werden kann, wird so eine Produktreihe sogar als ressourcenschonend einzustufen sein. Auch bei späterer thermischer Verwertung der Baugruppe sind von Thermoplasten bekannte Nebeneffekte, wie die Bildung giftiger Gase, nicht zu erwarten bzw. nicht bekannt.

3. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn und Ende des Vorhabens

Die Verarbeitung von Duroplasten im Spritzgießverfahren ist durch das Zusammenwirken von Wärmeeintrag in der Plastifizierung, Druck beim Einspritzen und Scherung im Werkzeug ein komplexer Vorgang, der die chemische Vernetzungsreaktion und damit die Bauteilqualität erheblich beeinflusst. Der Grad der Aushärtung korreliert mit der Rest-Reaktivität, die wiederum auf die mechanische und maßliche Stabilität des Endproduktes große Auswirkung hat.

Duroplaste sind im vernetzten Endzustand unschmelzbar und unlöslich, was in der Regel zu hohen Wärmeformbeständigkeiten, großer Oberflächenhärte sowie zu hohen mechanischen Festigkeiten führt. Diese Eigenschaften lassen sich noch dadurch verbessern, indem den Duroplasten Füllstoffe zugesetzt werden. Der sog. Glasübergangspunkt erreicht bei günstigen Prozessverhältnissen im Regelfall nahezu den Wert der Entformungstemperatur. Sind höhere Glasübergangspunkte (T_g) für die Anwendung nötig, so können diese durch thermisches Nachbehandeln (sog. Tempern) der Bauteile erzielt werden. Bei phenol-basierten Systemen sind Werte von $> 290^\circ\text{C}$ realisierbar.

Ein weiterer bestechender Vorteil von Duroplasten ist deren dimensionales Verhalten bei Temperaturänderung. Es bestehen nahezu lineare Dimensionsänderungen, die somit eine hervorragende Eignung für das Zusammenwirken mit Metallteilen (z. B. Insert-Moulding oder Over-Moulding) haben.

Die technisch bedeutendsten Duroplaste sind:

- Phenol-Formaldehyd-Harze (PF),
- Harnstoff-Formaldehyd-Harze (UF),
- Melamin-Formaldehyd-Harze (MF),
- Melamin-Phenol-Formaldehyd-Harz (MP),
- Ungesättigte Polyesterharze (UP) und
- Epoxidharze (EP).

Die Spritzgießverarbeitung von reaktiven Formmassen läuft in vielen Bereichen vergleichbar zur Verarbeitung von Thermoplasten ab. Die Unterschiede liegen hauptsächlich in der Temperaturführung sowie in der Konsistenz im jeweiligen Bereich, wie z.B. Materialbunker, Plastifiziereinheit oder Werkzeug. Duroplaste erweichen zunächst durch Wärmezufuhr und nehmen eine pastöse Form an. Infolge einsetzender Vernetzung weisen sie dann einen steilen Viskositätsanstieg auf. Daher ist der Schneckenzyylinder mit einer Flüssigtemperierung ausgerüstet, um nicht nur Wärme einbringen zu können, sondern entstehende Reibungswärme auch abführen zu können und somit vorzeitiger Vernetzung in der Plastifizierung vorzubeugen. Die Plastifizierschnecken sind in der Regel kompressionslos ausgeführt. Rückstromsperrern werden bei rieselfähigen Duroplasten nicht genutzt. Das Werkzeug wird in der Regel elektrisch in einem Bereich von 150–190 °C geheizt.

Die Duroplastverarbeitung führt beim Eintritt des Materials in die Werkzeugzone zu einer starken Viskositätsänderung in Richtung niedrigviskos. Das an der Werkzeugoberfläche reagierende Harz bildet in der Aufschmelzphase eine Art Gleitfilm und beschleunigt daher den Materialfluss im Werkzeug. Die aus Entlüftungsgründen mit feinsten Luftspalten versehenen Werkzeugtrennungen werden folglich mit Material gefüllt und bilden somit Grat, was im Regelfall dem Duroplast als Nachteil zugerechnet wird. Mit Sonderverfahren (Materialtransport über einen beheizten Kern) wird versucht, die Formmasse im Angussbereich zu überhitzen und auf diese Art einen vorgehärteten Teil in der Kavität mitzuführen, um die Trennungen zu verschließen. In der Praxis bewähren sich diese Methoden jedoch nur bei wenigen, speziellen Geometrien und finden daher kaum Verwendung.

Eine Alternative zur Gratvermeidung ist eine Trennebenentemperierung. Die Möglichkeiten einer selektiven Temperierung im Werkzeug ist – insbesondere bei hochlegierten Stählen – schwierig umzusetzen und spielt daher derzeit nur eine theoretische Rolle.

Beim Füllvorgang unterscheiden sich Duro- und Thermoplaste. Beim Kontakt mit der Werkzeugwand bildet sich, wie weiter vorne schon ausgeführt, bei Duroplasten entlang der Werkzeugoberfläche ein niedrigviskoser Film. Der innenliegende Schmelzeblock ist im Vergleich dazu hochviskos. Daraus resultiert im Regelfall eine Block-Scherströmung. Auf diese Weise gleitet der innere Bereich auf dem Schmelzefilm. Die Fließfront ist nicht homogen und zeigt ein offenporiges Bild und weist daher kaum Verdichtung auf. Daher sind gezielte Orientierungen von festigkeitserhöhenden Fasern im Duroplast in dieser Phase eher nicht möglich. Hierzu sind zusätzliche Maßnahmen, wie Spritzprägen oder Kernprägen erforderlich.

Duroplaste mit kurzen Fasern im Spritzgießen zu verarbeiten, ist aufgrund der vorhandenen Maschinen- und Verfahrenstechnik Stand der Technik. Im Thermoplastbereich hat die Zugabe von langen Verstärkungsfasern deutliche Verbesserungen hinsichtlich Festigkeit ergeben. Insofern kann davon ausgegangen werden, dass die Verwendung entsprechender Langfasern auch bei Duroplasten eine deutliche Erhöhung der mechanischen Eigenschaften bringen wird. Erste Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dass die bekannte Verfahrenstechnik von Kurzfasern-Duroplasten nicht auf Langfaserprodukte übertragbar ist.

Die in der diskontinuierlichen Harzherstellung begründeten Unterschiede sowie das Zusammenwirken von Harzcharge, Fließindex und Prozessparametern haben starken Einfluss auf die Verarbeitbarkeit, weshalb häufig von Chargenschwankungen und schwieriger Prozessführung gesprochen wird. Diese Schwankungen erfordern beim Verarbeiter eine wesentlich größere Erfahrung, als bei Thermoplasten, und führen typischerweise in der

Produktion zu vergleichsweise erhöhtem Ausschuss. Ferner erfordert die Fertigung mehr Beobachtung, stärkeren Abgleich der Prozessparameter und zusätzliche Prüfungen. In der gesamten herstellenden Prozesskette der Duroplastindustrie fehlen einheitliche Prüfverfahren zur Charakterisierung der Formmassen hinsichtlich Fließ- und Härteverhalten, um eine gleichbleibende Verarbeitung und in Folge stabile Bauteileigenschaften mit reduziertem Aufwand zu gewährleisten.

Zum Zeitpunkt des Austritts aus dem Vorhaben hat sich der technische bzw. wissenschaftliche Stand nur unwesentlich verändert, da durch die geänderten Vorgaben keine Realisierung mit entsprechenden Auswertungen gemacht werden konnten und sich daher weiterhin alles auf theoretische Annahmen stützt.

4. Planung und Ablauf des Vorhabens

Gemäß geplantem Inhalt des Arbeitspaketes 3 (Umspritzung Stator mittels Duroplast-Spritzgießwerkzeug) sollten der Stator und die Tangentialwicklung mit Hilfe eines Duroplast-Spritzgießwerkzeuges umspritzt werden. Ziel war es, die Prozesszeit zu reduzieren, einen reproduzierbaren Prozess zu entwickeln sowie die technischen Eigenschaften zu verbessern.

Auf Grund der geänderten technischen Voraussetzungen und Stückzahlenszenarien, die sich im Laufe des Projektes ergeben haben, wurde die ursprünglich geplante Umsetzung der Umspritzung bzw. Ummantelung des Stators und der Tangentialwicklung mit duroplastischen Werkstoffen aufgegeben. Grund hierfür ist, dass bei bestehender Motortopologie des DYNAX-Antriebssystems nur geringe Synergieeffekte durch diese Art der Umspritzung zu erwarten sind.

Compact Dynamics und Schwarzpunkt haben daher einvernehmlich mit dem Fördergeber entschieden, dass Schwarzpunkt nicht weiter als Projektpartner geführt werden soll.

5. Erzieltes Ergebnis

Auf Grund des Ausstiegs von Schwarzpunkt aus dem Förderprojekt zum 30.06.2014 können die im Verwertungsplan der Vorhabenbeschreibung genannten Ergebnisse nicht erzielt werden.

6. Nutzen für das Unternehmen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses

Die bisher gewonnenen Erkenntnisse helfen Schwarzpunkt insoweit jedoch, da die Problematik einer dünnwandigen Füllung bzw. Ummantelung von komplexen Wickelstrukturen bisher nicht untersucht war und die Erfordernisse von dimensionalen Abstimmungen mit dem Kunden bei Produktentwicklungen ähnlicher Art schon zu einem frühen Zeitpunkt einfließen können und unnötigen Aufwand durch Werkzeug- und Teilekorrekturen vermeiden helfen. Im Übrigen lassen sich ähnliche technische Anforderungen, die aufgrund fortschreitender Elektrifizierung in der Mobilität eine steigende Nachfrage erwarten lassen, schneller und zielgerichteter umsetzen.

Da bei solchen Anwendungen typischerweise keine oder sehr geringe Erfahrung der Anwender vorliegt, kann mit den gewonnenen Erkenntnissen eine sehr zielgerichtete und detaillierte Beratung durch uns erfolgen und eine Projektaufgabe somit schneller einer Realisierung zugeführt werden.

Wir planen, diesbezüglich Anwender zu identifizieren und ihnen derartige technische Lösungsmöglichkeiten nahezubringen. Konkrete Umsetzungsthemen können wir derzeit nicht benennen, da wir den Markt hierfür erst entwickeln müssen.

7. Zusammenarbeit mit anderen Stellen oder außerhalb des Verbundprojektes

Nicht zutreffend.

8. Darstellung des während des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Nicht zutreffend.

9. Veröffentlichungen, Vorträge, Referate, etc.

Nicht zutreffend.