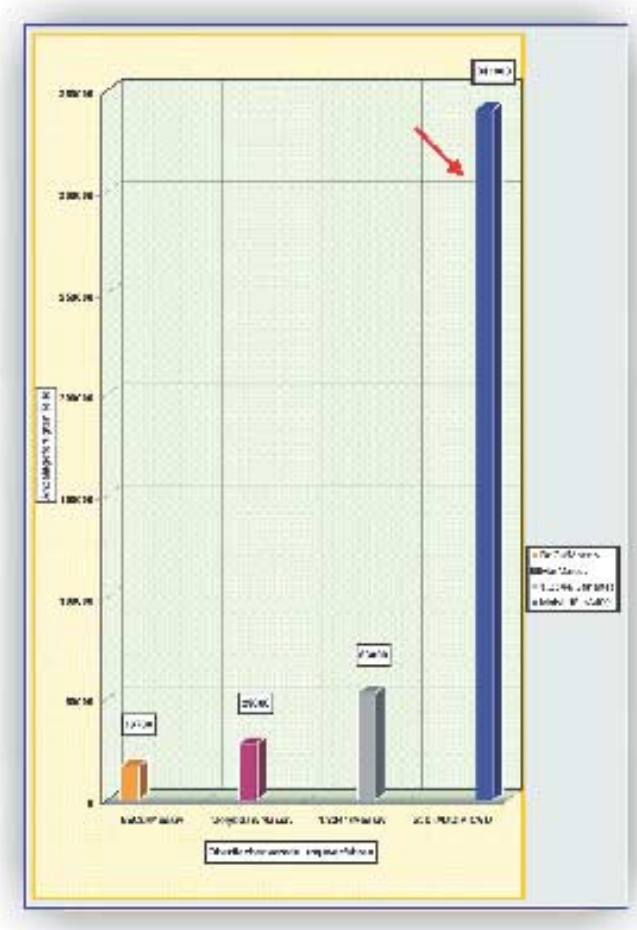
Düsensysteme für das Heißkanalspritzgießen

Standzahl und Spritzgeschwindigkeit enorm gesteigert



Der Standzeitsteigerungsvergleich von Heißkanalspritzgießdüsen zeigt die Überlegenheit der Molybdän-Lösung

Durch den Einsatz von innenveredelten Molybdän-Heißkanalspritzgießdüsen in der GFK-Verarbeitung lässt sich die Standzeit der Systeme um das 20-fache und die Spritzgeschwindigkeit von verschiedenen Kunststoffen um bis zu 450 % steigern. Eine weitere Standzahlsteigerung und Erhöhung der Spritzgeschwindigkeit um 27 % ist mittels dem Schichtsystem A400 zu erreichen.

Dr. Lienhard J. Paterok, Dr. Leonhard F. Paterok, Technisches F&E-Zentrum für Oberflächenveredelung und Hochleistungswerkzeugbau Dr.-Ing. Lienhard J. Paterok, Schömberg-Langenbrand

Um thermische, mechanische oder chemische Eigenschaften eines Produktes weiter zu steigern und gleichzeitig den Preis zu senken, werden Kunststoffen verschiedene anorganische Substanzen (Füllstoffe) zulegiert. Ihre Menge ist vom Einsatzfall abhängig und kann zwischen 0,5 % und 90 % liegen. Die hohe Abriebresistenz von anorganischen Füllstoffen wie Aluminiumoxid (mit einer Mikrohärte von 2300 HV), Siliziumdioxid (1100 HV), Titandioxid (2600 HV), Kaolin (2400 HV) oder Kalziumkarbonat sorgt für einen entsprechend hohen Abriebverschleiß von Extrudern, Spritzgießformen und Spritzgießdüsen aus Stahl (900 HV) oder Hartmetall (zwischen 1400 HV und 1800 HV). Der Abriebverschleiß wächst proportional mit dem Füllstoffgehalt in verspritzten Kunststoffen und der Spritzgeschwindigkeit.

Hoher Abriebverschleiß bei Düsen aus Kupferlegierungen

Diese Tatsachen zwangen alle kunststoffverarbeitenden Betriebe nach Formen- und Düsenwerkstoffen zu suchen, deren Härte den Füllstoffen entsprach. Der Hintergedanke war der Bau von entsprechenden Düsensystemen für das Heißkanalspritzgießen durch die die Spritzgeschwindigkeit gravierend erhöht werden sollte. In der Verspritzung von füllstofffreien Kunststoffen gelang dies bereits vor etlichen Jahren mit großem wirtschaftlichem Erfolg. Als Hauptkriterium für die Entwicklung von entsprechenden Düsenwerkstoffen diente hierbei die höchstmögliche Wärmeleitfähigkeit. Das Ergebnis waren

Kupferlegierungen mit Beryllium, Kadmium, Chrom und Titan. Leider zeichnen sich diese Legierungen durch eine relativ niedrige Härte aus, die je nach Zusammensetzung zwischen 150 HV und 210 HV und einer Wärmeleitfähigkeit von 218 W/mK liegen. Damit sind sie ungeeignet für den Bau von entsprechenden Heißkanalspritzgießdüsen (HKSGD) oder Heißkanalspritzgießdüsensystemen, beispielsweise für die Verspritzung von GFK.

Keine Geschwindigkeitserhöhung mit Chromstahldüsen

Ein Glasfasergehalt von 0,5 % führte zu einer raschen Abnutzung dieser Düsen, so dass von einem weiteren Einsatz dieser weichen Heißkanaldüsen-Werkstoffe mit geringer Abrasionsresistenz in der GFK-Verarbeitung Abstand genommen wurde. Bereits 1979 hat man sich entschlossen, zwei Wege zu gehen: Einerseits die Entwicklung von neuen massiven Legierungen, andererseits die Oberflächenveredelung von Düsen aus Kupferlegierungen, Stählen und Hartmetallen mit entsprechenden Hartstoffmikroschichten. Damals wurden erstmals normale Kunststoffspritzgießdüsen aus 12 %-igen Chromstählen mittels CVD-Verfahren im Temperaturbereich zwischen 950 °C und 1020 °C mit Titankarbid, Titannitrid und Titankarbonitrid beschichtet, im Vakuum gehärtet und in der K-Industrie eingesetzt. Zwar hat sich die Standzeit weiter um Faktor 5 bis 14 gesteigert, doch konnte die Spritzgeschwindigkeit leider auch durch diese Maßnahme nicht erhöht werden.

Der Einsatz von HSS im HKSGD-Bau hat aufgrund seiner noch schlechteren Wärmeleitfähigkeit von nur 19 W/mK kaum Anwendung gefunden. Düsen aus Hartmetall, deren Wärmeleitfähigkeit etwa 119 W/mK beträgt und deren Härte im Bereich zwischen 1400 HV und 1800 HV liegen kann, sind die Ausnahme. Sie werden aber aufgrund ihres hohen Preises nur selten eingesetzt. Die Veredelung von Düsen aus Kupfer-Legierungen zur Steigerung der Abriebfestigkeit mittels CVD- oder PVD-Verfahren bereitet bis heute beachtliche Probleme. Dabei sind die Ursachen für die Veredelungsschwierigkeiten in der schlechten Haftung aller keramischen Mikroschichten am Kupfer und an allen Kupfer-Legierungen zu suchen.

Der hohe Einkaufspreis für Form- und Spritzgießdüsensysteme zwingt alle Anwender zu einer höheren Spritzgeschwindigkeit. Höhere Spritzgeschwindigkeiten haben aber eine schnellere Abnutzung aller am Spritzgießprozess beteiligten Düsen und Spritzgießformen zur Folge. Die Innenbeschichtung sowohl von Standarddüsen als auch von Heißkanalspritzgießdüsen mittels CVD- und PVD-Verfahren bereitet seit jeher unüberwindbare Schwierigkeiten, da sich Durchgangsbohrungen von beiden Seiten

Das Schichtsystem A400. LM in 500-facher Vergrößerung

maximal 1D tief beschichten lassen. Dies gilt auch für geometrisch definierte Sacklochbohrungen und -löcher. Bereits im Jahr 1989 hat man im Technischen F&E-Zentrum für Oberflächenveredelung und Hochleistungswerkzeugbau, Schömberg-Langenbrand, mit dem 3D-Audip-CVD-Verfahren den Grundstein für ein neues hochenergetisches –3D-Audip-CVD-Verfahren gelegt.

Mikrohartstoffen bringen 15-fache Standzahl

Mittels diesem Verfahren wurde eine große Anzahl von verschiedenen Schichtsystemen mit unterschiedlichen Wärmeleitfähigkeiten zwischen 60 W/mK und 180 W/mK und einer Härte zwischen 1000 HV und 3400 HV in den bereits oben erwähnten Düsen aus Stahl abgeschieden. Die Ausgangselemente für diese Schichtsysteme waren Titan, Wolfram, Vanadium, Molybdän, Chrom, Kupfer, Beryllium, Aluminium, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff und Silizium. Das beste Ergebnis brachte eine Legierung mit einer Härte von 3050 HV und einer Wärmeleitfähigkeit von etwa 161 W/mK. Die Schichtdicke ist vom Ausdehnungskoeffizienten eines Düsenwerkstoffs abhängig: Je größer dieser ist, um so dünner sind die Schichten, die zwischen 0,7 µm und 2,5 µm liegen können. Diese Schichtensysteme aus Mikrohartstoffen wurden in einer Heißkanalspritzgießdüse aus dem Stahl 1.2344 mit einer Wärmeleitfähigkeit von 26 W/mK abgeschieden und in der Herstellung von Teilen aus GFK mit einem Glasfasergehalt von 55 % eingesetzt. Das Ergebnis war eine 15-fache Standzahlsteigerung. Einer weiteren Erhöhung der Spritzgeschwindigkeit stand die niedrige Wärmeleitfähigkeit des Stahls im Wege.

Beste Ergebnisse mit Molybdän als Düsen-Basiswerkstoff

Um die Spritzgeschwindigkeit von GFK zu steigern, musste die Wärmeleitfähigkeit des Schichtträgers soweit wie möglich angeglichen werden. Die Lösung lag im Einsatz von Molybdän als Düsen-Basiswerkstoff. Somit konnte die Firma dank der Innenveredelung von Molybdän-Heißkanalspritzgießdüsen (Molybdän-HKSGD) bereits vor vier Jahren erstmals einen Durchbruch in der GFK-Verarbeitung erzielen. Damals konnte nicht nur die Standzeit der Heißkanalsysteme bis Faktor 20 (bei einem Glasfasergehalt von 25 %), sondern auch die Spritzgeschwindigkeit von verschiedenen Kunststoffen bis zu 450 % gesteigert werden. Bei der Fertigung von elektrotechnischen Steckverbindungen aus einem Kunststoff mit 20 % Glasfasergehalt wurden folgende Ergebnisse erzielt: mittels BeCu-Heißkanalspritzgießdüsen zeigten sich bereits die ersten großen Verschleißerscheinungen in der Austrittsbohrung nach etwa 16 700 Teilen, wobei der Durchmesser um etwa 18 % größer wurde. Mit unbeschichteten Molybdän-HKSGD gelang es, etwa 28 000 und mit gehärteten Düsen aus 1.2344 circa 53 000 Teile zu spritzen.

Weitere Standzahlsteigerung mit dem Schichtsystem A400

In der nächsten Stufe hat man sich entschlossen, alle Molybdän-HKSGD mittels dem Schichtsystem A400 bei 460 °C und einem Druck von $1{,}6 \times 10^{-3}$ mbar innen zu veredeln. Das Resultat ist eine weitere Standzahlsteigerung auf 341 000 Stück (bei einer Toleranz von ± 3500 Stück) und eine Erhöhung der Spritzgeschwindigkeit um 27 %. Bereits seit mehr als drei Jahren werden monatlich etwa 1500 und 2500 Molybdän-HKSGD mit einer ständig steigenden Tendenz hergestellt, beschichtet und in der K-Industrie in der Serienfertigung von GFK-Teilen eingesetzt. Dabei führen die Molybdän-HKSGD auch zu Kostensenkungen in den Bereichen Werkzeugeinkauf, Kontrolle der fertigen Teile, Werkzeugwechsel und –instandsetzung, Fertigungszeit, Maschinenstillstandszeiten sowie Anzahl der Ausschussteile.

Mit den A400-beschichteten Molybdändüsen für das Heißkanalspritzgießen ist in der Serienfertigung von GFK-Teilen eine Standzahlsteigerung auf 341000 Stück und eine Erhöhung der Spritzgeschwindigkeit um 27 % erreichbar (Bilder: Technisches F&E-Zentrum, Schömberg-Langenbrand)