

Kurzfassung

Die Nanotechnologie wird als eine der Schlüsseltechnologien des 21sten Jahrhunderts angesehen. Sie ermöglicht es Werkstoffeigenschaften gezielt zu verändern oder dem Werkstoff gänzlich neue Eigenschaften zu verleihen. So kann beispielsweise die Bruchzähigkeit von Polymeren durch Zumischung von wenigen Volumenanteilen Nanopartikel erheblich gesteigert werden. Dadurch wird auch das Energieabsorptionsvermögen dieser Werkstoffe verbessert.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden TiO_2 - und SiO_2 -Nanokomposite auf Basis von Polyamid 66 in einem Zweischnellenextruder durch Direktmischen mit Füllgehalten von $\frac{1}{2}$, 1, 2 und 4 Vol.-% hergestellt. Mit Zugversuchen (Prüfgeschwindigkeiten von 1 mm – 1000 mm/s) und Bruchuntersuchungen bei quasistatischer sowie kurzzeitdynamischer Belastung wurden die mechanischen Eigenschaften charakterisiert. Mit vergleichenden Untersuchungen an einfach und zweifach extrudiertem ungefüllten Polyamid 66 (Referenzmaterial) konnte die Degradation des Polyamids durch den Extrusionsprozess ermittelt werden. Die TiO_2 - und SiO_2 -Nanokomposite wiesen deutliche Unterschiede in der Zähigkeit zueinander auf. Deshalb wurde ein Vergleich der plastischen Verformung bei Zugbeanspruchung der niedrig gefüllten Nanokomposite mittels einer Lichttransmissionsanalyse durchgeführt.

In den TiO_2 -Nanokompositen sind die Nanopartikel größtenteils in Form von Primärpartikeln homogen im Polyamid 66 verteilt. Die restlichen Nanopartikel fanden sich als Agglomerate unterschiedlicher Größen in der Matrix wieder. SiO_2 Nanokomposite wiesen eine sehr geringe Anzahl an Agglomeraten auf. Stattdessen fanden sich die Nanopartikel vorwiegend homogen als Kleinstagglomerate verteilt vor. Übergreifend zeigten die untersuchten Nanokomposite bei niedrigen Füllgraden gegenüber dem Referenzmaterial die größten mechanischen Eigenschaftssteigerungen, welche mit steigendem Füllgehalt wieder abnahmen.

TiO_2 Nanokomposite sind steifer und spröder als das Referenzmaterial. In den Zugversuchen bei geringen Prüfgeschwindigkeiten zeigten sie geringere Zugfestigkeiten und Duktilität. Mit steigender Belastungsrate wiesen alle untersuchten Materialien eine Versprödung auf, sodass bei den TiO_2 Nanokompositen eine höhere Zugfestigkeit als die des Referenzmaterials bei hohen Prüfgeschwindigkeiten beobachtet wurde. Die Bruchzähigkeit der TiO_2 -Komposite

war in den Bruchuntersuchungen sowohl bei quasistatischer als auch bei kurzzeitdynamischer Belastungsrate größer als bei dem Referenzmaterial.

Trotz gleicher Matrix zeigten die SiO₂ Nanokomposite im Vergleich zu den TiO₂-Nanokompositen ein anderes mechanisches Verhalten. Gegenüber dem Referenzmaterial wiesen sie in den Zugversuchen eine deutlich höhere Duktilität über alle untersuchten Prüfgeschwindigkeiten auf. Sie besaßen eine geringere Zugfestigkeit bei geringen Prüfgeschwindigkeiten. Bedingt durch die dehnratenabhängige Versprödung war die Zugfestigkeit bei der höchsten untersuchten Dehnrates größer als die der Referenz. Die SiO₂ Nanokomposite hatten auch eine höhere Bruchzähigkeit bei quasistatischer und kurzzeitdynamischer Belastung, wobei sie einen geringeren Rissinitiierungswiderstand bei quasistatischer Prüfgeschwindigkeit aufwiesen.

Bezogen auf das Referenzmaterial zeigten die Nanokomposite ein Potential das Absorptionsvermögen von FKV zu steigern. Das Polyamid 66 im Referenzmaterial und in den Nanokompositen besaß eine vergleichbare Verarbeitungshistorie, welche sich auf die Materialeigenschaften ausgewirkt hat.

Abstract

Nanotechnology is seen as one of the key technologies of the 21st century. Mechanical and non-mechanical properties of polymers can be specifically changed by reinforcing composites with nanoparticles (nanocomposites) and customized material properties can be realized for structural requirements. Only a few per cent by volume of nanoparticles are needed to increase the fracture toughness of polymers, which also raises the materials' energy absorption capability.

In this work TiO_2 and SiO_2 polyamide 66 nanocomposites with volume ratios of $\frac{1}{2}$, 1, 2 and 4 were produced using a co-rotating twin-screw extruder. The materials were characterized by tensile tests (testing speed from 1 to 1000 mm/s) and fracture tests at quasi-static and short-term dynamic loading rates. Polyamide 66 degraded due to the extrusion process. Therefore one time and two times extruded unfilled polyamide 66 was used as a reference material for comparing with the produced nanocomposites. TiO_2 and SiO_2 nanocomposites showed clear differences in their ductility. Therefore a light transmission analysis was performed on low filled nanocomposites to compare their plastic deformation.

Most of the primary TiO_2 nanoparticles were evenly distributed in the polyamide 66 matrix. Remaining particles were found as agglomerates of different sizes. SiO_2 nanocomposites contained a small amount of bigger agglomerates. Most of the SiO_2 nanoparticles evenly distributed as very small agglomerates with sizes of few primary particles in diameter. Low filled nanocomposites showed the biggest increase of mechanical properties, while the properties are decreasing again with higher filling ratios.

TiO_2 nanocomposites are stiffer and more brittle as the reference material. They showed lower tensile strength and ductility in tensile tests at low loading rates. All investigated materials had a loading rate depended embrittlement. Because of this behavior TiO_2 nanocomposites showed higher tensile strength at high testing speed than the reference material. At quasi-static and at short-term dynamic loading rate TiO_2 nanocomposites had higher fracture toughness.

In spite of their similar matrix SiO_2 nanocomposites have a different mechanical behavior than TiO_2 nanocomposites. Compared to the reference material SiO_2 nanocomposites showed a clear higher ductility over all investigated testing speeds. They had a lower tensile strength at low loading rates and higher tensile at high

loading rates strength than the reference material. Their fracture toughness was higher in both investigated testing speeds, while they had lower crack initiation toughness at quasi-static loading rates.

Concerning the reference material the nanocomposites have a potential to increase energy absorption of fibre reinforced plastics. All investigated materials had a similar processing history, which influenced material properties of the used polyamide 66.