

Abschlussbericht
des
Leibniz-Instituts für Neue Materialien gem. GmbH

Tiefziehwerkzeuge aus Kunststoff über neue Nanokomposite
Förderkennzeichen: 03N5023

Laufzeit des Vorhabens: 01.04.1999-31.03.2004

Zuwendungsempfänger:

Institut für Neue Materialien gem. GmbH, Saarbrücken	-INM-
Bayer AG, Leverkusen	-Bayer-
Wilhelm Karmann GmbH, Osnabrück	-Karmann-
Daimler Chrysler AG, Sindelfingen	-DC-
Volkswagen AG, Wolfsburg (Projektleitung)	-VW-

Berichtszeitraum: 01.04.1999-31.03.2004

1 Zielsetzung

1.1 Allgemeine Einleitung

Im Automobilbau stellt der Werkzeugbau einen eigenständigen Geschäftsbereich dar. Schwerpunktmäßig werden Tiefwerkzeuge gefertigt, die im Presswerk zur Herstellung der Blechteile der Fahrzeuge eingesetzt werden. Die Werkzeuge werden aus teurem und schwerem Stahlguss hergestellt und können für die Produktion von bis zu einer Million Teile und mehr eingesetzt werden. Allerdings ändert sich durch eine Reihe von strategischen Entwicklungen am Kfz-Markt das Anforderungsprofil der nachgefragten Tiefziehwerkzeuge. Die Standardmodelle früherer Jahre, die zu einem Bedarf an sehr großen Stückzahlen (mehrere Millionen Teile) führen, unterliegen einer zunehmenden Diversifizierung. Die fortschreitende Individualisierung der Produkte im Bereich des Automobilbaus führt zu einer Zunahme der Modell- und Variantenvielfalt. Der Bedarf an Werkzeugen für Blechteile in sehr großen Stückzahlen nimmt daher trotz steigender Kfz-Verkaufszahlen insgesamt ab. Dadurch zeichnet sich für die Zukunft ein Trend ab zur Fertigung einer großen Anzahl verschiedener Blechteile in mittleren Stückzahlen zwischen 10.000 und 100.000 Teilen. Außerdem führt die Verkürzung der Kfz-Entwicklungszeiten zu verstärkter auftretenden Veränderungen der Bauteilgeometrien bis in die Periode der Produktionsvorserie hinein. Daraus lässt sich die Forderung an den Werkzeugbau nach einer Flexibilisierung der Produktion ableiten. Die Entwicklungszeit für einen durchschnittlichen Werkzeugsatz muss von der Konstruktion bis zur Einarbeitung von ehemals 18 und derzeit 15 auf 6 Monate gesenkt werden. Für die Fertigung dieser zukünftig benötigten Tiefziehwerkzeuge besteht derzeit keine angepasste Technologie. Allerdings wurden zu Testzwecken Umformwerkzeuge aus bisher marktüblichen Kunststoffen hergestellt. Über diesen Weg konnten lediglich Serien bis zu maximal 500 Teilen erreicht werden. Aus diesem Grunde bestand die Notwendigkeit, neuartige Kunststoffe mit erhöhter Festigkeit und Härte für den Einsatz als Umformwerkzeuge zu entwickeln.

1.2 Gesamtziel des Vorhabens

Ziel des Vorhabens war die Konzeption, Entwicklung und Erprobung neuartiger, innovativer Werkzeugsysteme aus Kunststoff speziell für die Umformung von Aluminiumblechen, die sich durch eine schnelle Fertigung und hohe Lebensdauer auszeichnen.

Im Rahmen des Projektes arbeiteten Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus allen Bereichen der Wertschöpfungskette der Blechumformung zusammen. Aufgrund dieser Konstellation wurde eine durchgängige Kooperation von Blech- und Werkzeugwerkstoff-Herstellern und Anwendern gewährleistet. Die Industriepartner nehmen innerhalb des Konsortiums eine Schlüsselrolle ein, da es auch Ziel des Projektes war, eine innovative Werkzeugtechnologie zu entwickeln. Diese sollte im Anschluss an das Projekt unter industriellen Produktionsbedingungen zum Einsatz kommen und den Anwendern damit

Produktionsbedingungen zum Einsatz kommen und den Anwendern damit deutliche wirtschaftliche Vorteile bringen.

Durch den Verwendung von hochfesten Polymer-Nanokompositen als Werkzeugwerkstoff sollte den aufgezeigten Forderungen Rechnung getragen und ein erhebliches Einsparungspotential der bisherigen Werkzeugkosten erreicht werden. Entscheidend dafür sind u.a. die günstigeren Materialkosten, die einfachere Zerspanbarkeit und die schnellere Herstellbarkeit der Werkzeuge sowie die Möglichkeit, die Matrize formgenau vom Stempel abgießen zu können. Das Ziel des Vorhabens bestand also in der Konzeption, Herstellung und Erprobung neuartiger, innovativer und umweltverträglicher Tiefziehwerkzeuge aus Polymer-Nanokompositen für die Umformung zu entwickeln. Weiterhin sollte dadurch im Werkzeugbau eine schnellere flexiblere Fertigung realisiert werden. Die angestrebte Lebensdauer der Werkzeuge liegt im Bereich von bis zu 100.000 Teilen. Um dies zu erreichen, sollten innerhalb des Projektes die mechanischen Eigenschaften (insbesondere Verschleißbeständigkeit, Reibverhalten und mechanische Festigkeit) der Kunststoffe durch die Einbringung nanoskaliger Teilchen in die polymere Matrix des Kunststoffes gezielt verbessert werden.

1.3 Aufgabenstellung für die Materialentwicklung INM

Das Ziel der Materialentwicklung am INM im Verbundprojekt war die Entwicklung neuartiger Polymerkomposite für die Herstellung von Umformwerkzeugen in enger Zusammenarbeit mit dem Projektpartner Bayer. Die hierzu vorgesehenen Arbeiten im Bereich Werkstoffentwicklung bestanden zum einen aus der Herstellung und Oberflächenmodifizierung von keramischen harten Nanopartikeln. Als Matrixmaterial zur Herstellung der Polymer-Nanokomposite für Umformwerkzeuge sollten Polyurethane des Projektpartners Bayer AG verwendet werden. In den entsprechend gelieferten Polyol-Komponenten sollten des weiteren nach einem umfangreichen Materialscreening ausgewählte, geeignete Nanopartikel homogen dispergiert werden. Die so hergestellten Polyoldispersionen sollten bei Fa. Bayer AG mit Isocyanat versetzt und zu Polyurethan-Manokompositmaterialien polymerisiert werden. Zusätzlich sollten am INM an den resultierenden Nanokompositen umfangreiche Materialcharakterisierungen durchgeführt werden, um nach einem weiteren Materialscreening geeignete Materialkombinationen zur Herstellung der Umformwerkzeuge in ausreichenden Mengen zur Verfügung stellen zu können. In diesem Zusammenhang sollte über die Laborversuche hinaus auch ein entsprechendes Up-Scaling des Verfahrens zur Herstellung oberflächenmodifizierter nanoskaliger Partikel bis in den Technikumsmaßstab hinein durchgeführt werden.

2 Ergebnisse der Materialentwicklung am INM

Im Rahmen der Gesamtprojektlaufzeit vom 01.04.1999 bis zum 31.03.2004 wurden seitens des INM folgende Arbeitspunkte behandelt:

- Synthese und Oberflächenmodifizierung von nanoskaligen Teilchen unterschiedlicher Oxidzusammensetzungen (= Stoffsysteme) sowie Variationen bezüglich des Oberflächenmodifikators, der Teilchengröße und Teilchenform der nanoskaligen Partikel
- Materialscreening bzgl. der Oberflächenmodifikation zur Optimierung der Nanopartikel / Matrix-Kompatibilität
- Herstellung und Bereitstellung von Nanopartikel / Polyol-Dispersionen mit steigendem Füllstoffgehalt in unterschiedlichen Gebindegrößen zur Polymerisation an Projektpartner Bayer AG
- Morphologische, thermomechanische, mechanische und tribologische Charakterisierung der von Bayer AG polymerisierten Nanokomposit-Proben zur Ermittlung von Struktur-Eigenschafts-Beziehungen
- Up-Scaling der Pulversynthese zur Herstellung oberflächenmodifizierter Nanopartikel
- Synthese und Bereitstellung großer Mengen ausgewählter Dispersionen an Nanopartikeln in Polyol zur Herstellung mehrerer Testwerkzeuge für praxisnahe Tests bei den Endanwendern VW, Karmann und DC

2.1 Vorgehen zum Materialscreening bezüglich oberflächenmodifizierter Nanopartikel

Zu Beginn des Projektes wurde in Absprache mit allen Projektpartnern Polyurethan als Kunststoff-Basismaterial für die Herstellung der neuen Nanokompositwerkstoffe ausgewählt, da es gegenüber dem Alternativkunststoff Polyepoxid Vorteile hinsichtlich der Reaktivität und Variationsmöglichkeiten (Matrixmaterial, Füllstoffeinarbeitung) sowie des tribologischen Verhaltens bietet. Polyurethan wird durch Vermischen und Reagieren einer A-Komponente (Polyol, i.d.R. Polyetherpolyole) mit einer B-Komponente (Polyisocyanate) hergestellt. Diese Verarbeitungsmethode bietet durch die rel. geringe Viskosität der beiden Rohstoffkomponenten vielfältige Variationsmöglichkeiten hinsichtlich Füllstoffen und Additiven und stellt somit eine günstige Ausgangsbasis für die im Projekt angestrebte Modifizierung mit nanoskaligen Feststoffpartikeln dar. Im Rahmen der Materialentwicklung wurden zahlreiche Füllstoffe (aus INM-Synthese sowie kommerziell erhältliche Füllstoffe) mit unterschiedlichen, ausgewählten Oberflächenmodifikatoren umgesetzt, um eine hinreichende Kompatibilität der Partikel zur Polyurethan-Matrix zu gewährleisten. Der Ablauf des Screenings ist in folgendem Bild 1 schematisch skizziert. Nach der Pulverbereitstellung wurden die Partikel hinsichtlich einer Kompatibilität zur Polyol-Komponente des eingesetzten Polyurethansystems oberflächen-

modifiziert. Um schon frühzeitig einen Aufschluss über die Dispergiereigenschaften der Nanopartikel im Polyurethan zu erhalten, wurden am INM bereits Vorversuche zu den Polymerisationen zum Polyurethan unternommen und die resultierenden Komposite morphologisch mittels Transmissionselektronenmikroskopie untersucht. Nach Charakterisierung der Partikeldispersionen und Dispergierversuchen in den verschiedenen Polyolkomponenten wurden geeignete Partikel/Modifikator-Kombinationen ausgewählt und in Polyol dispergiert, wobei die resultierenden Partikel/Polyol-Dispersionen dem Projektpartner Bayer zur Polymerisation zu Polyurethan-Nanokompositen zugesendet wurden. Die wiederum resultierenden Polymer-Nanokomposite wurden am INM hinsichtlich morphologischer, thermomechanischer, mechanischer und tribologischer Eigenschaften im Labormaßstab charakterisiert.

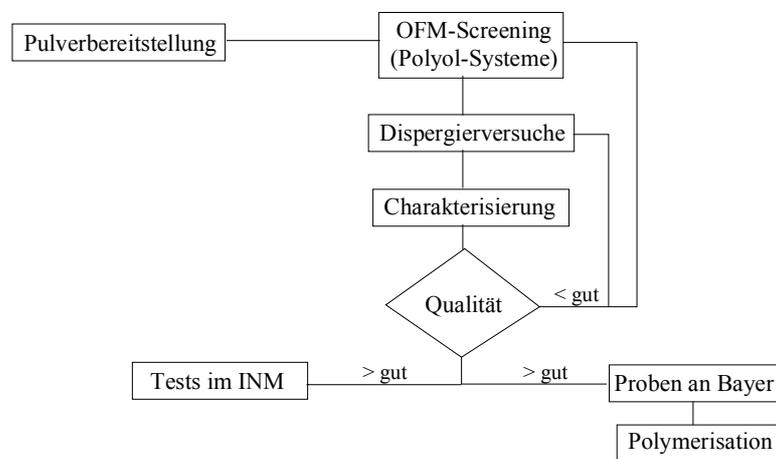


Bild 1 : Ablaufplan zur Einarbeitung von nanoskaligen Teilchen in PU

2.2 Erste Screeningphase zur Materialentwicklung am INM

Das Ziel des ersten Screenings im Rahmen der Materialentwicklung war die Eingrenzung geeigneter Füllstoff / Modifikator-Kombinationen zur Herstellung von Nanokompositen im Vorfeld zur Komplett-Charakterisierung. Des Weiteren sollen grundsätzlich die Einflüsse der Parameter wie Partikelform, Partikelgröße und Funktionalität sowie Reaktivität der Modifikatoren auf die mechanischen Eigenschaften der resultierenden Nanokomposite untersucht werden.

2.2.1 Screening unterschiedlicher Füllstoffe und Oberflächenmodifikatoren

In diesem Rahmen wurden verschiedene Polyurethan-Rezepturen im Hinblick auf ihre Eignung zum Einsatz als Basismaterial für die geplanten Versuche mit nanoskaligen Füllstoffen untersucht. Die Auswahl der speziellen PU-Systeme erfolgte anhand der aus der Literatur,