

Nanotechnologie des Spritzgießens

Bionik: Von der Natur lernen!

Sandskink, Mottenaugen, Gecko und Co.

Prof. Dr.-Ing. Thomas Schröder

1 Einleitung

Entspiegelte Gläser, selbstreinigende Fliesen oder schmutzabweisende Möbel – winzige Strukturen im Nanometerbereich machen es möglich. Nano, das griechische Wort für Zwerg ist ein Kürzel für Maße in der Größenordnung von Millionstel-Millimetern.

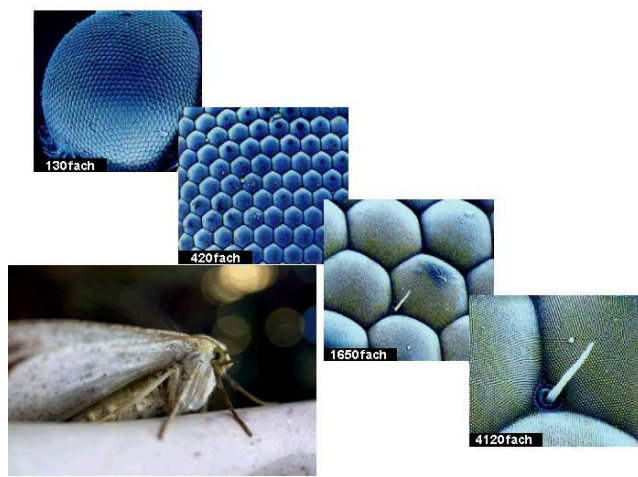


Abbildung 1 • Motte und Mikroskopaufnahme der Mottenaugenstruktur

Gitterstrukturen im Nanometerbereich auf Scheiben vermeiden Reflektionen. Dieser Effekt entspringt der Natur und ist unter dem Mottenaugeneffekt bekannt. Der Abstand der Erhebungen auf dem Facettenauge nachtaktiver Insekten sind mit unter 200 Nanometern geringer als die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes. Dadurch können diese Strukturen nicht aufgelöst werden und das Auge reflektiert kein Licht. Die Vorteile liegen auf der Hand: Nachts sehen die Insekten viel, müssen dabei gleichzeitig nicht als Nahrung erhalten. Diese Vorteile will man am Beispiel der Natur auch in der Technik umsetzen. Die Anwendungsbereiche sind vielseitig: Entspiegelte Brillengläser und Monitore, Antirefleksions-schichten auf Solarmodulen sind nur einige Beispiele für Anwendungsmöglichkeiten. Zum Stand der Technik gehört, dass diese Strukturen zunächst auf Folien übertragen oder mittels Spray auf Oberflächen aufgebracht werden müssen und aufwendig verklebt werden müssen.

Das vorliegende Forschungsprojekt hat zur Aufgabe, diese Nanostrukturen direkt im Spritzgießverfahren herzustellen.

2 Aufgabenstellung

Aufgabe des vorliegenden Forschungsprojektes ist es, die Nanostruktur, im konkreten Fall die Mottenaugenstruktur, direkt im Spritzgießprozess abzuformen. Dies ist keine triviale Aufgabenstellung. Neben einer optimal abgestimmten Prozessführung, einer variothermen Werkzeugbeheizung, der richtigen Materialauswahl und Reinraumbedingungen, muss die inverse Struktur des Mottenaugeneffektes in das Spritzgießwerkzeug integriert werden.

Im nächsten Schritt des Projektes sollen die Einstellparameter mittels der Methode der statistischen Versuchsplanung variiert werden. Dazu werden die Prozessdaten wie Werkzeuginnendruck und Werkzeugwandtemperatur, über im Spritzgießwerkzeug integrierte Sensoren aufgezeichnet und quantitative Kennzahlen über die Abbildgenauigkeit gebildet.

Mittels Regressionsanalyse entsteht daraus eine mathematische Gleichung zur Beschreibung der Abbildgenauigkeit in Abhängigkeit von den Einstell- bzw. Prozessparametern.

3 Problemlösung und Vorgehen

3.1 Spritzgießwerkzeug

Um den Effekt der Mottenaugenstruktur in Kunststoff abzubilden, wird ein Spritzgießwerkzeug gebaut, welches zwei Kavitäten zur Abformung von plättchenförmigen Probekörpern beinhaltet. Die eine Kavität soll zur Abformung der Mottenaugenstruktur dienen, die zweite soll zum Vergleich erhalten, um den Effekt der Mottenaugenstruktur zu verdeutlichen.

Das Spritzgießwerkzeug wird zunächst als Spritzprägewerkzeug aufgebaut, um zu überprüfen, ob das Spritzprägewerkzeug eine bessere Abformung der Mottenaugenstruktur ermöglicht. Um die Prozessführung zu überprüfen und die Abformgenauigkeit in Abhängigkeit der Einstellparameter vorherzusagen, werden in das Spritzgießwerkzeug Temperatur- und Drucksensoren integriert.

3.2 Herstellung der inversen Mottenaugenstruktur

Die Mottenaugenstruktur, welche als Einsatz in das Spritzgießwerkzeug integriert werden soll, wird nach Bild 2 als Nickelblech hergestellt. Das Blech hat eine Stärke von ca. 0,6mm und wird mittels Spannrahmen in dem Spritzgießwerkzeug fixiert.



Abbildung 2 • Herstellung des Nickelbleches mit Mottenaugenstruktur

3.3 Variotherme Temperaturführung

Um eine optimale Abformung, bei gleichzeitig möglichst kurzer Zykluszeit zu erzielen, bedarf es einer schnellen Aufheizung und anschließender rascher Abkühlung. Beim variothermen Spritzgießzyklus wird die Kavitätsoberfläche vor dem Einspritzen aufgeheizt. Es werden Werkzeugwandtemperaturen angestrebt, bei der die Schmelzeviskosität des Kunststoffes so niedrig ist, dass die Strukturen vollständig ausgeformt werden. Bei amorphen Thermoplasten sollte sie knapp über der Glastemperatur liegen, bei teilkristallinen Thermoplasten oberhalb der Kristallisationstemperatur.

In der anschließenden Nachdruckphase wird das Temperaturniveau wieder abgesenkt, um ein schnelles Erstarren der Thermoplaste zu ermöglichen.

3.4 Kunststoffauswahl

Um die Mottenaugenstruktur optimal in Kunststoff abzuformen, werden Kunststoffe mit einer möglichst

niedrigen Schmelzeviskosität benötigt. PC hat sich bereits in der CD-Herstellung zur Abformung von Mikrostrukturen etabliert. Mit diesem transparenten Kunststoff sollte vor allem der Entspiegelungseffekt verdeutlicht werden.

Des Weiteren werden leichtfließende Typen von PA, POM und PBT untersucht. Bei schwarz eingefärbten Materialien ist davon auszugehen, dass sie dem Betrachter extrem matt und tiefschwarz erscheinen, während die Probekörper ohne Mottenaugenstruktur dem Betrachter glänzend und heller erscheinen dürften.

3.5 Reinraumbedingungen

Um die Mottenaugenstruktur vor Schmutzpartikeln zu schützen, wird auf der Spritzgießmaschine eine Reinraumkabine installiert. Die reine Luft strömt vertikal in den Reinraum und bewirkt so, dass die sensiblen Arbeitsbereiche und Maschinen möglichst wenig kontaminiert werden. Die Reinraumkabine muss Reinraumbedingungen nach der ISO Reinraumklasse 7 erfüllen.

3.6 Überprüfung der Abformgenauigkeit

Zur Überprüfung der Abformgenauigkeit wird ein Messsystem benötigt, welches die Oberfläche der Probekörper im Nanometerbereich auflöst. Mit dem Atomic Force Microscope des Instituts für Kunststofftechnik Darmstadt (ikt) können diese Strukturen dargestellt werden. Anhand des Abformgrades der Mottenaugenstrukturen können quantitative Kennzahlen gebildet werden.

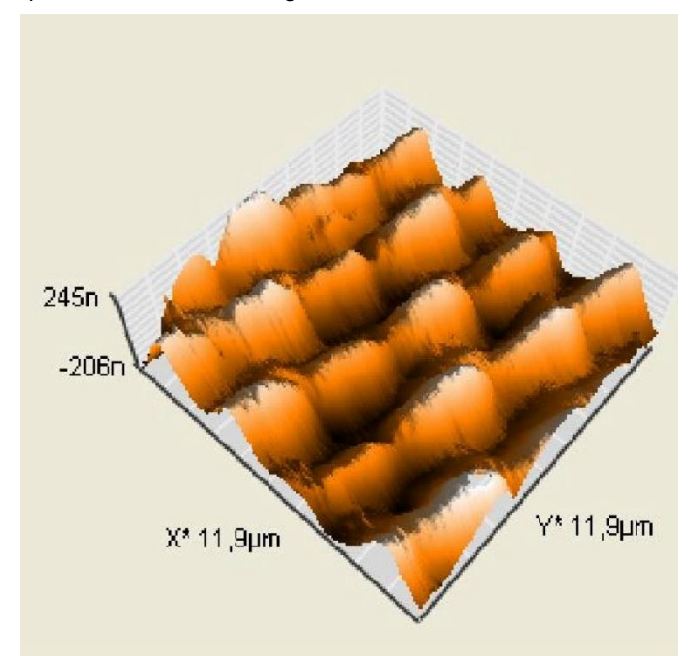


Abbildung 3 • Abgetastete Oberfläche des Nickelbleches

3.7 Statistische Qualitätskontrolle

Um die Abformgenauigkeit der Mottenaugenstruktur vorherzusagen, werden die Einstellparameter mittels der Methode der statistischen Versuchsplanung variiert, die Prozessdaten mit dem Prozessdatenerfassungssystem aufgezeichnet und quantitative Kennzahlen gebildet. Über Regressionsanalyse wird daraus eine mathematische Gleichung zur Beschreibung der Abformgenauigkeit in Abhängigkeit der Einstell- bzw. Prozessparameter, gebildet. Ziel ist die Lösung der Variablen a_0, \dots der Gleichung:

Abformgenauigkeit der Nanostruktur =

$$a_0 + a_1 \vartheta_{wz} + a_2 p_n + a_3 \vartheta_m + a_4 \vartheta_{wz} p_n + a_5 \vartheta_{wz} \vartheta_m + a_6 p_n \vartheta_m + a_7 \vartheta_{wz} \vartheta_m p_n \dots$$