

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Aluminium und Aluminiumlegierungen gehören in die Gruppe der Leichtmetalle. Aufgrund ihrer hervorragenden Eigenschaften, z.B. ihrer geringen Dichte bei hoher Festigkeit sowie ihrer guten Korrosionsbeständigkeit gegenüber vielen korrosiven Medien, haben sie in den letzten Jahren neben anderen Leichtbauwerkstoffen wie Magnesium, Titan und polymeren Verbundwerkstoffen aus ökonomischen und ökologischen Gründen zunehmend an Bedeutung gewonnen. Als Beispiel sei der Einsatz von Aluminiumwerkstoffen in der Automobilfertigung genannt. So besteht, z.B. im Bereich der Automobilkarosserien durch Aluminium-Schalenbauweise die Möglichkeit einer bis zu 50%-igen Gewichtsreduzierung, die dann entsprechend beim gesamten Fahrzeug zu einer 20%-igen Gewichtseinsparung führen kann [1]. Ebenso ist der Einsatz von Aluminiumwerkstoffen in der Luft- und Raumfahrttechnik unabdingbar und von zunehmend größer werdendem Interesse.

Für zahlreiche Anwendungen im Maschinenbau und in der Fahrzeugtechnik (z.B. Motorblöcke, Zylinderköpfe, Getriebegehäuse) werden jedoch erhöhte Anforderungen an die Verschleiß- und die Korrosionsbeständigkeit gestellt, welche der Aluminiumwerkstoff in seiner Grundform nur bedingt erfüllen kann. Aus diesem Grund wird versucht, neben den üblichen umweltbedenklichen Oberflächenvergütungsverfahren, z.B. Hartanodisieren, Cadmieren und Chromatieren, alternative und umweltschonende Methoden einzusetzen. Hierzu gehören neben den rein chemischen (CVD) und physikalischen (PVD) Gasphasenabscheidungsverfahren auch die ionenstrahlgestützten Abscheidungsverfahren. Mit diesen Methoden können, je nach industriellem Verwendungszweck, harte und superharte Schichten (z.B. Al_2O_3 , CrN, TiN, DLC) auf den Aluminiumwerkstoffen abgeschieden werden, die entsprechend ihrer Eigenschaften die gewünschten tribologischen und/oder korrosionsschützenden Anforderungen erfüllen. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich bei den Aluminiummaterialien generell um eher weiche Grundwerkstoffe handelt. Somit besteht unter hoher mechanischer Belastung aufgrund der unzureichenden Stützfunktion durch das Substratmaterial selbst, bzw. einer fehlenden Härtegradientenschicht die Gefahr einer frühzeitigen Zerstörung der Hartstoffschicht durch Art „Eierschalen-Effekt“ sowie eine plastische Verformung des Grundmaterials. Ein industrieller Einsatz sowie die Anwendung in potentiellen Technologien ist unter diesen Bedingungen kritisch.

Eine Möglichkeit, die im Lauf der letzten Jahre zunehmend an Interesse und Relevanz gewonnen hat, Oberflächen- und Randschichten von Aluminium und Aluminiumlegierung zu härten und beständiger gegenüber Verschleißbeanspruchungen zu machen, ist die Nitrierung durch Verwendung von Plasma- oder Ionenstrahltechniken [2-4]. Zielsetzung dieser Arbeiten ist es, durch die Implantation energiereicher Stickstoffionen in den oberflächennahen Bereich

der Aluminiumsubstratmaterialien die diffusionsgesteuerte Bildung einer mehrere μm dicken Aluminiumnitridschicht (AlN) zu erreichen. Zahlreiche Untersuchungen und Ergebnisse weisen darauf hin, dass für eine erfolgreiche diffusionsgesteuerte Nitrierung von Aluminium Substrattemperaturen über 300°C notwendig sind. Andererseits wirkt die dünne, auf jeder metallischen Aluminiumoberfläche sich bildende Aluminiumoxidschicht als Diffusionssperre und verhindert somit ein Eindiffundieren von Stickstoff [5,6].

Neuere Techniken zur Oberflächen- und Randschichtmodifikation von Metallen und dünnen Schichten mit energiereichen Ionenstrahlen wurden in den vergangenen Jahren in Rußland, Polen und den USA entwickelt [7-10]. Im Gegensatz zu der herkömmlichen Ionenimplantation mit kontinuierlichen Ionenstrahlen wird dabei verstärkt die Behandlung von Oberflächen mit kurzen Pulsen $< 1 \mu\text{sec}$ bei hohen Ionenstromdichten $> 1 \text{ A/cm}^2$ eingesetzt. Entsprechend der Pulsdauer und der eingestrahlten Energie- bzw. Leistungsdichte des Ionenstrahls kann es im oberflächennahen Substratbereich zu einer starken Aufheizung, auch über den Schmelzpunkt hinaus, kommen. Eine zusätzliche, externe Heizung des Substrats wird dadurch nicht zwingend notwendig. Eine Vielzahl von Forschungsergebnissen zur gepulsten Ionenstrahlbehandlung von Oberflächen weisen auf ein erhebliches Potential dieser Technik hin, mit der nicht nur in vergleichsweise kurzem Zeitraum Oberflächen und dünne Schichten chemisch modifiziert werden können, sondern auch gezielt thermische Effekte in der oberflächennahen Mikrostruktur, z.B. Oberflächenaufschmelzungen und Kornverfeinerungen, durch den hohen Energie- bzw. Leistungsdichte-Input induziert werden können. Hierbei zeigt sich, dass sowohl die Härte als auch die Korrosionsbeständigkeit der behandelten Substratoberflächen verbessert werden können [11,12]. Im Gegensatz zu den bisherigen Ionenstrahltechniken zur Oberflächenmodifikation, sowohl mit kontinuierlichen als auch mit gepulsten Ionenstrahlen im nsec- und μsec -Bereich, ist wenig über die Effekte bekannt, die durch gepulste Ionenstrahl nitrierungen im msec-Bereich hervorgerufen werden.

Thema und Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit ist daher die Modifikation von Aluminiumsubstratoberflächen mit energiereichen, gepulsten Stickstoffionenstrahlen im msec-Bereich. Vorrangige Zielsetzung ist, durch Variation der Stickstoffbestrahlungsfluenz, Energie- bzw. Leistungsdichte und der Pulsdauer, die diffusionsgesteuerte Synthese einer Aluminiumnitridschicht und den thermischen Einfluß auf das Diffusionsverhalten und auf mikrostrukturelle Veränderungen in Abhängigkeit der Strahlparameter zu untersuchen. Dabei sollen Elementzusammensetzung (RBS), Phasenbildung (XPS), Oberflächenmorphologie (SEM) und Mikrostruktur (Querschliffe) bestimmt werden. Die Charakterisierung der modifizierten Aluminiumoberflächen erfolgt mittels Mikrohärtemessungen und elektrochemischer Untersuchungsmethoden, die Aufschluss über das mechanische Verhalten sowie die Korrosionsbeständigkeit geben sollen. Die Zusammenhänge zwischen den Strahlparametern, der Phasenbildung und thermisch induzierten Veränderungen in der Mikrostruktur sowie den daraus resultierenden Schichteigenschaften werden dabei im Detail

erläutert und diskutiert. Den Abschluß bildet die Beurteilung der Ergebnisse im Hinblick auf eine Verwendung der Pulsmethode als Alternative zu den herkömmlichen Verfahren mit kontinuierlichen Ionenstrahlen. Zudem soll die vorliegende Arbeit dazu beitragen, ein tieferes Verständnis zum Ionenstrahlnitrierverhalten von Aluminiumwerkstoffen zu gewinnen.