

Zusammenfassung

Aluminium und Aluminiumlegierungen besitzen eine geringe Dichte und ein gutes Härte-zu-Gewicht Verhältnis. Diese Eigenschaften und die hervorragende Bearbeitbarkeit prädestinieren sie für viele Anwendungsbereiche. Obwohl in den letzten Jahren das Interesse an dieser Werkstoffgruppe stark zugenommen hat, können aufgrund der geringen Härte, der unzureichenden Beständigkeit gegenüber Verschleiß und des niedrigen Schmelzpunkts, die industriellen Einsatzmöglichkeiten dieser Materialgruppe nicht voll ausgenutzt werden. Randschichtmodifikationen des Grundmaterials sowie, nachfolgende Beschichtungen sind prinzipiell geeignet, um diese Nachteile zu verringern.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war daher eine grundlegende Untersuchung zur Nitrierung von Aluminium mit gepulsten Ionenstrahlen. Zu diesem Zweck wurden Aluminiumsubstrate einer Ionenstrahlpulsbehandlung im msec- und nsec - Bereich unterzogen, bei der zum einen die diffusionsgesteuerte Synthese einer Aluminiumnitridschicht, und zum anderen der thermische Einfluss auf das Diffusionsverhalten und die mikrostrukturelle Veränderungen untersucht werden sollten.

Zunächst wurden grundsätzliche Überlegungen zur thermischen und ionenstrahlinduzierten Diffusion angestellt, sowie ein vereinfachtes Diffusionsmodell zur Beschreibung der experimentellen Diffusionsprozesse entwickelt. Die Durchführung der Ionenstrahlpulsexperimente erfolgte zum einen an der GSI-Darmstadt am Hochstromionenquellenteststand, der mit einer MUCIS-Ionenquelle ausgerüstet war. Hier wurden Pulsbestrahlungen mit Leistungsdichten $< 0,5 \text{ kW}/(\text{cm}^2\cdot\text{Puls})$ und Pulslängen zwischen 0,5 – 25 msec durchgeführt. Weitere Experimente mit gepulsten Ionenstrahlen wurden in Verbindung mit dem Institut für Plasmaphysik (IPP) München, mit Leistungsdichten im Bereich von $1 - 4 \text{ kW}/(\text{cm}^2\cdot\text{Puls})$ und mit Pulslängen von 1 – 100 msec, durchgeführt. In Zusammenarbeit mit der Polytechnischen Universität Tomsk (Russland) konnten auch exemplarische Ionenstrahlpulsexperimente im nsec-Bereich mit Leistungsdichten von $0,3 - 2 \cdot 10^3 \text{ kW}/(\text{cm}^2\cdot\text{Puls})$ gemacht werden.

Die tiefenabhängige Analyse der chemischen Bindungsverhältnisse und die Phasenbildung ionenstrahlpulsbehandelter Aluminiumsubstrate erfolgte mit Hilfe der Röntgen-Photoelektronen-Spektroskopie (XPS), während die Schichtzusammensetzung und zur Untersuchung von Diffusionsprozessen die zerstörungsfreie Rutherford-Rückstreu-Spektroskopie (RBS) eingesetzt wurde. Um den thermischen Einfluss auf die Oberflächenmorphologie und um mikrostrukturelle Veränderungen zu untersuchen wurde die Rasterelektronenmikroskopie (REM) verwendet. Mikrohärtmessungen erfolgen nach der dynamischen Methode mit einem Vickersindenter. Das Korrosionsverhalten wurden mit Hilfe elektrochemischer Untersuchungen unter Bedingungen der Lochfrasskorrosion durchgeführt.

Die wichtigsten Ergebnisse der Behandlung von Aluminiumsubstraten mit gepulsten Ionenstrahlen sind folgende: Rechnerische Abschätzungen der thermischen Entwicklung zeigen, dass durch die Pulsbestrahlung im msec- und nsec-Bereich mit einer moderaten Erwärmung der Substratoberflächen bis hin zu 450 °C pro Puls zu rechnen ist. Mit Hilfe von REM und mikroskopischen Aufnahmen von Querschliffen wurden die Oberflächenmorphologie und mikrostrukturellen Veränderungen untersucht. Für hohe Energie- und Leistungsdichten konnten deutliche lokale Aufschmelzungen und eine Verfeinerung in der Oberflächenstruktur gefunden werden. Dabei wurde eine Aufschmelzung bis ca. 50 µm und eine modifizierte Mikrostruktur bis in eine Substrattiefe von 80 µm beobachtet. RBS – Untersuchungen ionenstrahlpulsnitrierter Aluminiumsubstrate zeigen, dass mit zunehmender Energiedichte eine Stickstoffdiffusion um ca. 200 nm in das Aluminiummaterial auftritt, während gleichzeitig ein erheblicher Anteil des Stickstoffs von bis zu 50 % durch die Oberfläche diffundiert. Experimentell bestimmte Diffusionskoeffizienten zeigen, dass es sich bei den Diffusionsprozessen um keine rein thermische, sondern um eine ionenstrahlinduzierte Stickstoffdiffusion (radiation enhanced diffusion) in Aluminium handelt. Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass die Stickstoffdiffusion deutlich von der Dicke der Oberflächenoxidschicht abhängt. Die eigentlich erwünschte diffusionsgesteuerte Bildung einer mehrere µm dicken Aluminiumnitridschicht konnte nicht erreicht werden. Mit XPS wurde die tiefenabhängige Bildung von Aluminiumnitrid, Aluminiumoxynitriden und interstitiell gebundenen Stickstoff nachgewiesen. Es zeigt sich, dass mit einer ausgeprägten Aluminiumnitridbildung nur bei geringen Sauerstoffkonzentrationen im Restgas zu rechnen ist. Bei Aluminiumsubstraten, die einen hohen Anteil an Aluminiumnitrid aufwiesen, waren Härtezunahmen zwischen 1,1 – 2,5 zu beobachten. Pulsbestrahlungen mit hohen Energiedichten führen eher zur Abnahme der Schichthärte auf den ursprünglichen Substratwert, während das Korrosionsverhalten durch eine verbesserte Passivschicht positiv beeinflusst wird.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass durch sorgfältige Optimierung der Oxidschichtdicke der Ionenstrahl nitrierparameter auch dicke Aluminiumnitridschichten zugänglich sein sollten, und dass die Pulsnitrierung eine alternative Methode zur Modifikation von Oberflächen und dünnen Schichten gegenüber den Techniken mit kontinuierlichen Ionenstrahlen und den Plasmaverfahren darstellt.