

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Gegenstand dieser Arbeit ist die Untersuchung der Eigenschaften und der Struktur der Randschicht von austenitischen Edelstählen nach der Behandlung mit gepulsten Ionenstrahlen.

In der vorliegenden Arbeit wird der Stahl X2CrNi18-9 als Versuchswerkstoff eingesetzt. Der Grund für das große Interesse an diesem Stahl liegt in seiner Bedeutung für den gesamten Armaturen- und Anlagenbau der chemischen, petrochemischen und pharmazeutischen Industrie, sowie der Lebensmittelindustrie, wo er bevorzugter Konstruktionswerkstoff ist. Dies ergibt sich aus seinen hervorragenden Korrosionseigenschaften, sowie seiner guten Kaltverformbarkeit und der dadurch auftretenden Verfestigung.

Die Nachteile dieses Stahls sind seine relativ niedrige Härte und sein geringer Verschleißwiderstand, was den Einsatzbereich dieses Werkstoffs in nicht wünschenswerter Weise begrenzt. Daher wurden bereits diverse Oberflächenvergütungsverfahren entwickelt, deren Nachteile jedoch häufig in ihrer Umweltschädlichkeit oder einem verschlechterten Korrosionsverhalten liegen. Ein bekanntes Beispiel ist das Chromatieren.

In den letzten Jahren wurden daher alternative Verfahren entwickelt, zu denen Vakuumvergütungs- und Beschichtungsverfahren gehören. Bei ihnen werden zum Beispiel Hartstoffschichten durch chemisches bzw. physikalisches Abscheiden aus der Gasphase erzeugt (*Chemical Vapour Deposition*, bzw. *Physical Vapour Deposition*). Die Schwierigkeiten liegen dabei zum einen in einer hohen Substrataufheizung während der Behandlung, was zu Phasenmodifikationen und Gefügeveränderungen des Stahls führen kann, und zum anderen in geringen Schichthäufigkeiten. Bei beiden Schwierigkeiten sei hier auf das *IBAD-Verfahren* (*Ion Beam Assisted Deposition*) oder dem Plasma-CVD-Verfahren verwiesen /Wolf 89/, die sich bei ihrer Anwendung durch eine kontrollierte Substraterwärmung bei gleichzeitiger Erzielung von hohen Haftungsfestigkeiten auszeichnen.

Eine weitere Möglichkeit für die Oberflächenvergütung liegt in der Einlagerung von Ionen. Dies kann durch *Ionenstrahltechniken* /Wolf 88/ oder *Plasmadiffusionsverfahren* /Berg 00/ geschehen. Speziell bei der Implantation von Stickstoff spricht man auch von *IonenstrahlNitrierung*. Die Nitrierung von Stahl ist sehr verbreitet, da sich der Stickstoff mit Eisen und Chrom zu Nitriden verbinden kann, was zu einer Erhöhung der Mikrohärtigkeit des Stahls führt /Zhang 85, Ichi 86, Ment 99a, Sche 98/. Weiterhin lässt sich der Stickstoff auf Grund seiner relativ geringen Größe leicht auf Zwischengitterplätzen einlagern, was in der Regel ebenfalls zu einer Erhöhung der Mikrohärtigkeit führt /Bull 96, Chu 00/.

Bei den Randschichtmodifikationen durch Ionenstrahltechniken unterscheidet man zwischen *Ion Beam Implantation*, *Plasma Immersion Ion Implantation* (PIII) und *Pulsed Ion Beam Implantation*. In dieser Arbeit sollte das letztere Verfahren, bei dem die Ionen als gepulste energiereiche Ionenstrahlen in den Versuchswerkstoff implantiert werden, angewandt und auf seine Verwendbarkeit überprüft werden. Es ist eines der jüngsten

Implantationsverfahren, das in den vergangenen 10-20 Jahren in Russland, Polen und den USA entwickelt wurde /Remn 99, Wern 98/. Es ist mit diesem Verfahren möglich, in relativ kurzen Zeiträumen erhebliche Strukturveränderungen zu bewirken, wie zum Beispiel lokale Aufschmelzungen, Kornverfeinerungen und erhöhte Fehlstellendichten /Koro 98, Pogr 99, Pogr 00, Shul 99/, was auf ein hohes Potential dieser Technik schließen lässt. Die speziellen Effekte lassen sich auf mechanische Schockwellen und hohe thermische Aufheiz- und Abkühlraten zurückführen, die bei der Verwendung von Ionenpulsen mit kleinen Pulslängen $<1\mu\text{s}$ und hohen Ionenstromdichten $>1\text{A}/\text{cm}^2$ bei ca. 10^9 - 10^{12} K/s liegen. Weiterhin können die hohen Randschichttemperaturen zu thermischen Diffusionseffekten der implantierten Ionen führen, wodurch die modifizierte Schicht bis weit über die Eindringtiefe der Ionen hinaus verbreitert werden kann.

Bei der Verwendung von gepulsten Ionenstrahlen ist bisher im Gegensatz zum ns-Bereich, noch relativ wenig über die Effekte durch Ionenstrahlpulse im ms-Bereich bekannt, weshalb dies ein Schwerpunkt dieser Arbeit ist. Als Arbeitsgase wurden Edelgase (Neon, Argon) und Stickstoff eingesetzt. Die Edelgase wurden zur Abklärung der Rolle der Defektbildung eingesetzt, die auch eine Zunahme der Härte bewirken können, wie sich in früheren Experimenten herausstellte /Pere 98, Uglo 99/.

Die Zielsetzung dieser Arbeit ist darauf ausgerichtet, den Einfluss von gepulsten Ionenstrahlen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Arbeitsgasen und Ionenstrahlparametern auf die Oberflächeneigenschaften des Stahls X2CrNi18-9 zu ermitteln. Dazu wurden Proben mit drei verschiedenen Ionenpulsimplantationsanlagen bestrahlt, und Pulslängen von $10\mu\text{s}$ - 100ms , Stromdichten von 0.5mA - 80mA und Ionenenergien von 7kV - 50kV verwendet. Bei der anschließenden Analyse wurden mit mikroskopischen Verfahren (Rasterelektronenmikroskopie, Rasterkraftmikroskopie) die Oberflächentopographie und Oberflächenmorphologie untersucht, mit der Ionenstrahlanalytik (Rutherford Rückstreuung, Kernreaktionsanalyse) eine Elementanalyse durchgeführt und mit röntgenspektroskopischen Verfahren (GXRD), sowie der Mößbauerspektroskopie (CEMS) eine Phasenanalyse vorgenommen. Zur Ermittlung der mechanischen und chemischen Eigenschaften wurden die Härte und das Verschleißverhalten analysiert und die Korrosionseigenschaften untersucht.

Zuerst werden unter *Grundlagen* der Versuchswerkstoff und allgemeine Aspekte der Ionenstrahlimplantation besprochen (Kapitel 2). Dann folgt die Darstellung der verwendeten Analysemethoden (Kapitel 3). In Kapitel 4 werden die Experimente und die dabei zum Einsatz gekommenen Anlagen beschrieben, sowie die Versuchsergebnisse vorgestellt und diskutiert. Den Abschluss bildet eine zusammenfassende Diskussion (Kapitel 5).