

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen	9
1 Einleitung	17
1.1 Funktionale Randschichten	17
1.2 Laser in der Materialbearbeitung	17
2 Stand der Technik	21
2.1 Beschichtungsverfahren	21
2.2 Beschichten durch Löten	22
2.3 Thermisches Spritzen	23
2.4 Schmelzauftragschweißen	26
3 Zielsetzung und Aufgabenstellung	32
4 Grundlagen Laseroptik	33
4.1 Einführung	33
4.2 Geometrische Optik	33
4.3 Die Brennweite von Linsen und Spiegeln	34
4.4 Matrix-Methode für die geometrische Optik	34
4.5 Ausbreitung Gaußscher Strahlen	36
4.5.1 Der Gaußstrahl	37
4.5.2 Fokussierung Gaußscher Strahlen	39
4.5.3 Kollimierung Gaußscher Strahlen	40
4.6 Gaußsche Strahlen und <i>ABCD</i> -Matrizen	41
4.7 Reale Laserstrahlen	41
4.8 Faser-Optik	42
5 Der BeamTrap	45
5.1 Problemstellung und Konzept des BeamTrap	45
5.2 Strahlformung	46
5.2.1 Optische Auslegung	48
5.2.2 Die Optik-Elemente	48
5.2.3 Auslegung des Strahlverlaufs	50
5.2.4 Rückwirkung der Laserstrahlung auf den Resonator	56
5.3 Das System zur Pulverförderung und -aufbereitung	58
5.3.1 Pulverförderer	58
5.3.2 Zyklon	61
5.3.3 Pulverdüse	61

5.4	„Crossjet“ beim BeamTrap	63
5.4.1	Crossjet mit schraubenförmiger Gasströmung	65
5.4.2	Crossjet mit ringförmiger Gasströmung	66
6	Wechselwirkung zwischen Laserstrahl und Pulver	68
6.1	Streuung und Extinktion	68
6.2	Transmission	69
6.3	Absorption	72
6.4	Absorptionseffizienz	79
7	Messung der Transmission und Absorption von Laserstrahlung im Pulverstrom	80
7.1	Transmissionsmessung	80
7.1.1	Versuchsdurchführung	80
7.1.2	Ergebnisse	82
7.2	Absorptionsmessung	84
7.2.1	Versuchsdurchführung	84
7.2.2	Auswertung	86
7.2.3	Ergebnisse	91
8	Funktionstest des BeamTrap	100
9	Zusammenfassung und Ausblick	103
	Literaturverzeichnis	104

1 Einleitung

1.1 Funktionale Randschichten

Die Funktion eines Bauteils wird durch mehrere Faktoren gewährleistet. Dazu zählen

- physikalische Eigenschaften wie elektrische Leitfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Ausdehnungskoeffizient oder Dichte,
- chemische Eigenschaften wie Korrosionsbeständigkeit,
- mechanische Eigenschaften wie Zugfestigkeit, Zähigkeit oder Härte,
- geometrische Eigenschaften wie Maßhaltigkeit,
- optische Eigenschaften wie Reflexion oder Farbe,
- fertigungstechnische Eigenschaften wie Umformbarkeit oder Zerspanfähigkeit und
- tribologische Eigenschaften wie Reibkoeffizient.

All diese Eigenschaften greifen ineinander, bedingen sich teilweise gegenseitig oder schließen einander aus. So führt eine große Härte meist zu guter Abriebfestigkeit, verringert aber gleichzeitig die Zähigkeit eines Werkstoffs. Deshalb können die unterschiedlichen Anforderungen, die an ein Bauteil gestellt werden, oft nicht von einem einzigen Werkstoff erfüllt werden. Oder der benötigte Werkstoff ist so teuer, daß das Bauteil nicht mehr wirtschaftlich gefertigt werden kann.

Andererseits betreffen viele Funktionsanforderungen, wie beispielsweise Korrosionsbeständigkeit oder Verschleißfestigkeit, nur die Oberfläche eines Bauteils. Auch andere Aufgaben, wie z. B. eine elektromagnetische Abschirmung, können bereits vollständig durch die Randschicht eines Bauteils wahrgenommen werden. So kann dieses aus einem billigen Grundwerkstoff bestehen, der gewisse technologische Anforderungen wie z. B. Festigkeit und Zerspanbarkeit bei vertretbaren Kosten erfüllt. Eigenschaften, die allein an die Eigenschaften der Oberfläche des Bauteils geknüpft sind, können durch Verändern der Oberfläche oder durch eine nachträglich aufgebraachte Beschichtung mit einem dafür geeigneten Werkstoff verwirklicht werden. Mit dieser Arbeit soll auf ein neues Beschichtungsverfahren näher eingegangen werden, das sich auf den Laser als Energiequelle stützt.

1.2 Laser in der Materialbearbeitung

Seit der Entwicklung des ersten Lasers zu Beginn der sechziger Jahre dieses Jahrhunderts [1] hat die Lasertechnologie und deren Anwendung einen rasanten Fortschritt erlebt. Moderne Laser bieten vielfältige Anwendungsmöglichkeiten in allen Bereichen des Lebens.

Ein Gebiet, das sehr stark von der Entwicklung in der Lasertechnik profitiert, ist die Medizin. Beispielsweise erlaubt eine über ein Endoskop eingekoppelte Laserlichtquelle minimalinvasive Chirurgie [2], so daß Krankenhausaufenthalte drastisch verkürzt und somit die Belastung der Krankenkassen trotz höherer Investitionskosten deutlich gesenkt werden können. Für die Medizin erwiesen sich aber auch Produkte als vorteilhaft, die so nur mit dem Laser hergestellt werden konnten. So wurde eine deutliche Verkleinerung von Herzschrittmachern erzielt, deren empfindliche Elektronik mit Hilfe eines Lasers in ein Titangehäuse eingeschweißt wird [3]. Eine andere Anwendung findet man in der Dentaltechnik. Hier werden Metallfassungen paßgenau um Keramik-Kronen gefügt und anschließend mit einem Laser geschweißt [4]. Dadurch ist eine stabile und sichere Befestigung im Gebiß gewährleistet.

Auch die Kommunikations- und Unterhaltungsindustrie wird von der Lasertechnik beeinflusst. Mit Hilfe von Lasern werden heute über eine einzige Glasfaser mehrere hunderttausend gleichzeitig geführte Telefongespräche ermöglicht [5]. Dies reduziert die Kosten von Fern- und Interkontinentalgesprächen so stark, daß mittlerweile die Übertragungskapazität der Glasfasernetze diejenige der Kommunikationssatelliten übertrifft. Immer größere Fortschritte ergeben sich ebenso auf dem Gebiet der Datenspeicherung. Mit Diodenlasern können zum Beispiel auf den neuesten CDs (DVD) Spielfilme in digitaler Qualität und Stereoton in mehreren Sprachen gespeichert und wieder abgespielt werden [6]. Es befinden sich auch Speicher in der Entwicklung, die mit Hilfe der Holographie in Zukunft die Archivierung riesiger Datenbestände auf kleinstem Raum ermöglichen werden [7]. Das Auslesen der Daten kann mit bislang unerreichter Geschwindigkeit erfolgen, da große Datenmengen mit einem einzigen Zugriff gleichzeitig zur Verfügung stehen.

Vorteile ergeben sich auch in der Meßtechnik. So ist die Entfernungsmessung mit dem Laser an Genauigkeit bisher nicht zu überbieten. Beispielsweise kann der Abstand des Mondes von der Erde auf wenige Millimeter genau bestimmt werden [2]. Eine andere verblüffende Anwendung gibt es bei der Bestimmung der dreidimensionalen Lage im Raum: In Flugzeugen wird der herkömmliche, mechanische Kreiselkompass durch einen optischen Kreiselkompass ersetzt [2]. Dazu wird ein Laserstrahl durch eine lange, kreisförmig aufgewickelte Glasfaser geschickt. Findet nun eine Drehung in der Kreisebene statt, dann erhält man während der Drehung eine Frequenzverschiebung des Laserlichts, die von der Geschwindigkeit und Richtung der Drehbewegung abhängt. Aus der Dauer und der Stärke der Verschiebung kann der Drehwinkel errechnet werden. Zur Ermittlung einer dreidimensionalen Bewegung werden drei zueinander senkrecht stehende Glasfaserrollen benötigt. Auch für die Meßtechnik im Bereich des Umweltschutzes werden