

## Laserschweißen von Leitscheiben für stationäre Gasturbinen (Siemens / WP / SLV)

### Einleitung

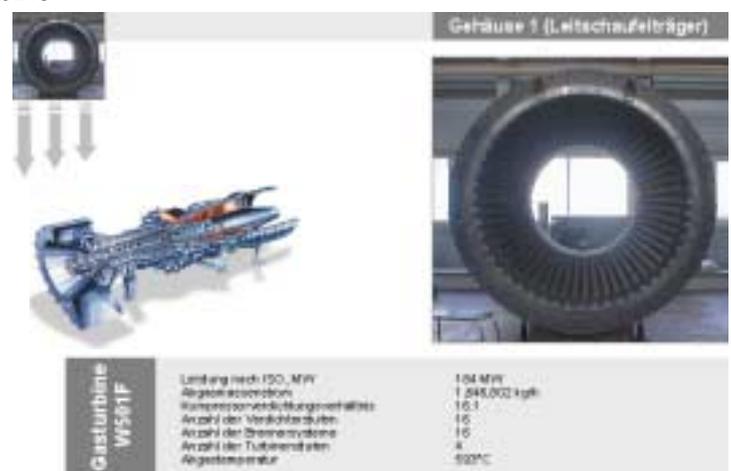
Mit der Fusion von zwei großen Turbinenherstellern Siemens und Westinghouse wurde ein kundenorientierter Globalplayer am Markt platziert. Nach den Marktprognosen ist Siemens Westinghouse als Gasturbinenlieferant nach GE die Nummer zwei auf dem Weltmarkt. Die Fusion war eine Herausforderung für die Technik und Fertigung aufgrund der doch sehr unterschiedlichen Konstruktionen. In diesem Bericht wollen wir zeigen, wie wir die Integration anderer Konstruktionen am Beispiel der Diaphragmafertigung organisiert haben und welche Potenziale daraus abgeleitet werden können.

Die Siemenskonstruktion der Verdichterleitscheiben ist eine vorrangig durch formschlüssige Verbindungen aufgebaute Komponente der Gasturbine.

*Bild 1: Leitscheibe montiert*

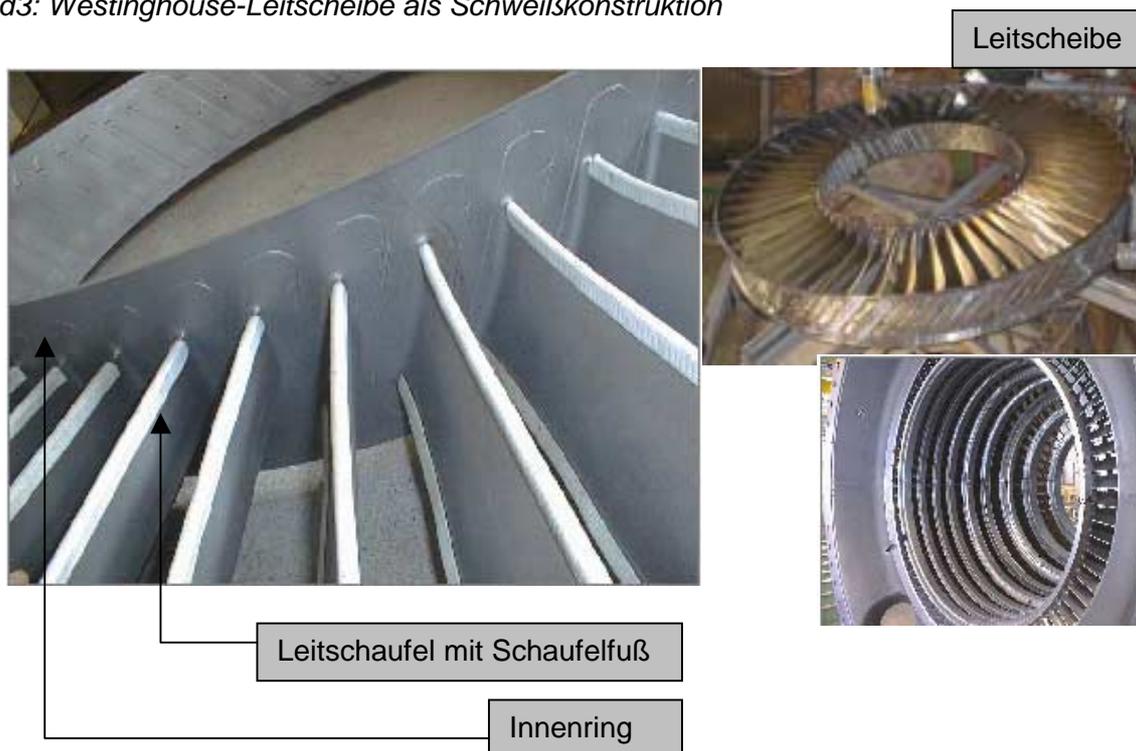


*Bild 2: Position der Leitscheibe in der Gasturbine*



Mit dem Auftrag in Berlin auch Komponenten für die Westinghouse-Konstruktion zu fertigen, musste eine Leitscheibenfertigung als reine Schweißkonstruktion aufgebaut werden.

Bild3: Westinghouse-Leitscheibe als Schweißkonstruktion



1. Fertigungsrandbedingungen

Aus wirtschaftlichen Überlegungen sollte auf der neuen Fertigungslinie eine neue Generation Verdichterleitscheiben gefertigt werden. Diese Leitscheiben hatten andere Abmessungen, geometrische Formen und im Betrieb wurden höhere Betriebsbelastungen ermittelt. Ein direkter Know-how-Transfer war verändert aufgrund der veränderten Konstruktion und der anderen Fertigungseinrichtung durch unsere Kollegen aus Nordamerika nicht möglich. Das Umfeld für eine Schweißteilmontage mit geplanten 2.500 Fertigungsstunden auf einer Laserschweißmaschine musste organisiert und vertraglich abgesichert werden. Damit ergab sich eine Symbiose zwischen einem schweißtechnischen Institut, einem mittelständischen Unternehmen und der Industrie. Mit der Bezeichnung Symbiose soll gesagt werden, dass die Industrie eine spontane Fertigungsumstellung, Kapazitäten auf einer Laserschweißmaschine mit wissenschaftlicher Beratung, einkaufen konnte und das Institut den industriellen Kontakt für praktische Anwendungen erhielt. Der Mittelständler konnte seine Flexibilität unter Beweis stellen, indem die Serienfertigung mit motiviertem Personal im 2-Schichtbetrieb auf dem Institutlaser abgewickelt wurde.

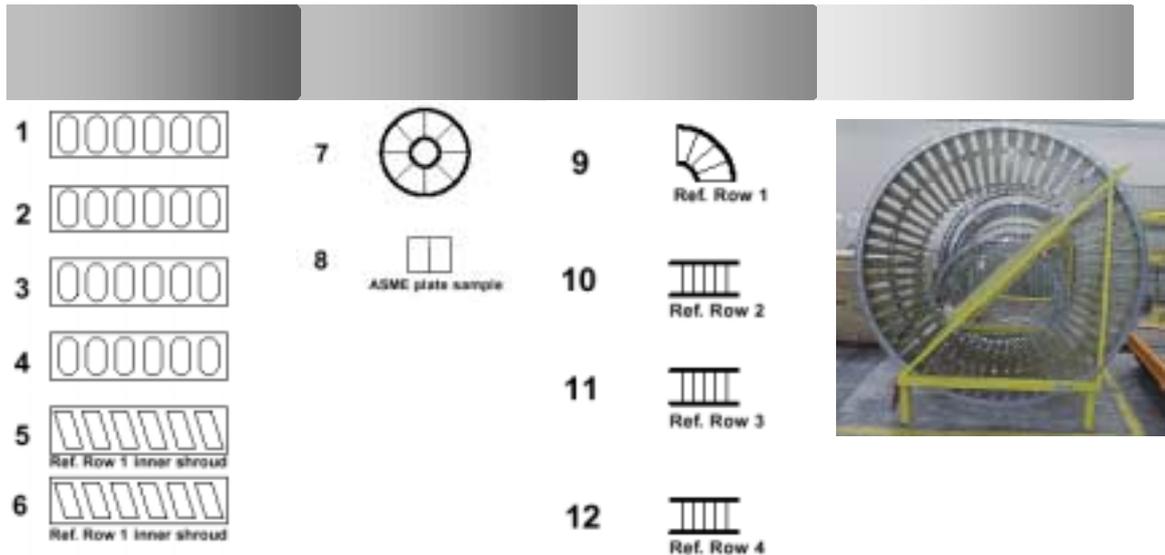
2. Fertigungseinrichtung/Toleranz

Für die mechanische Bearbeitung der Außen- und Innenringe und der Schaufeln werden 5-Achs-CNC-Bohrwerke eingesetzt. Zwecks Einhaltung erforderlicher Fügespalttoleranzen ist die Bearbeitung von Außen- und Innenringen auf die Schaufelbearbeitung abzustimmen damit Toleranzadditionen verringert werden. Relevante Maße der vorhandenen Schaufeln (Schaufelfußbreite und Schaufelkopfbreite sowie der Winkel zwischen Kopf und Fuß) wurden ermittelt und einer Toleranzbetrachtung unterzogen. Wie erwartet sind die Maße einer Gaußschen Verteilung unterlegen. Die Abweichungen zwischen größtem und kleinstem Längenmaß lagen bei 5/100. Nach der größten Schaufel, -(Kopf)-Abmessung werden die Durchbrüche in den Innen- und Außenringen gefräst. Ein schrittweises Bearbeiten und Probemontieren ermöglicht das sehr passgenaue Erstellen der Leitscheibe. Das auf diesem Weg ermittelte optimale Maß für die Durchbrüche im Innen- und Außenring ist die Grundlage für alle nachfolgenden mechanischen Bearbeitungen. Diese Art der handwerklichen Abstimmung von Toleranzfeldern ermöglicht schnell und einfach die Konstruktion montierbar zu bearbeiten und den notwendigen Fügespalt einzuhalten.

2.1 Thermisches Fügen

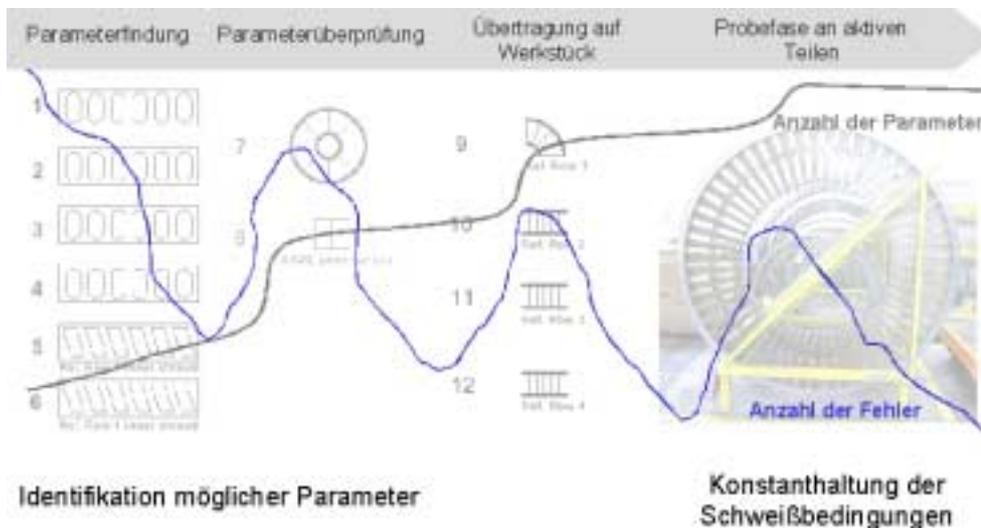
Definierte Anforderungen aus Auslegungsrechnungen und Betriebsversuchen an ähnlichen Konstruktionen lagen vor. Damit war die Notwendigkeit für einen vollwandigen Anschluss mittels Laserschweißen definiert. Mittels Tiefschweißung musste eine Blechdicke von 7,6 mm aus dem Werkstoff x10 Cr 13 verbunden werden. Die Laserqualifizierung unterteilte sich in 4 Bereiche, von der Parameterfindung bis zur Probefertigung aktiver Bauteile.

Bild 4:  
 Parameterfindung    Parameterüberprüfung    Übertragung auf Werkstück    Probefase an aktiven Teilen



In der kompletten Qualifizierung wurden angefangen vom Luftspalt und den Bauteiloberflächen bis zur Schweißreihenfolge 35 Parameter betrachtet und für die Serienfertigung optimiert.

Die Abhängigkeit der Parametereinflüsse auf unser Schweißergebnis und das Anwachsen der Komplexität auf dem Weg von einer einfachen Blindschweißung (Kontrolle ob die Laserleistung ein Durchschweißen ermöglicht) zur Bauteilschweißung zeigt Bild 5:

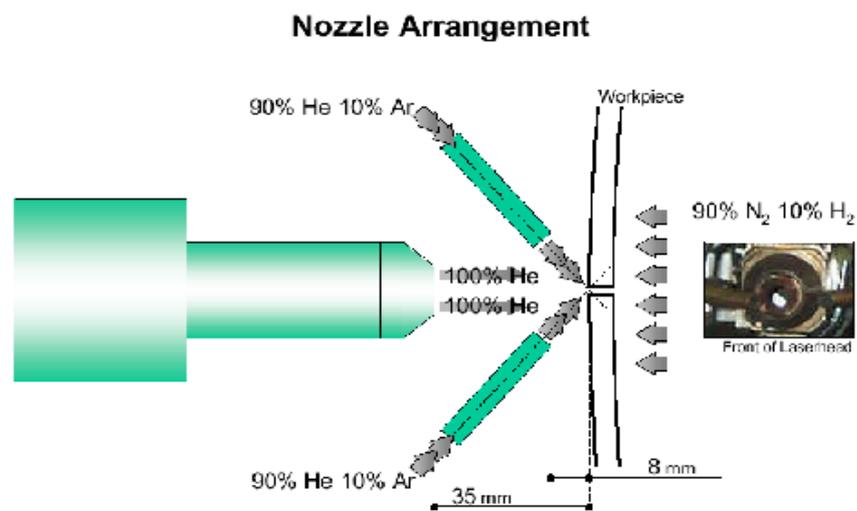


Eine kleine Auswahl der Parameter und der Gerätebeschreibung, die ausschließlich mit dem Laser gekoppelt ist, wird in Bild 6 gezeigt. Weitere Parameter, wie Schutzgas für den Wurzelschutz, Umfang und Ausführung der Heftschweißungen können aus den fertigungsbegleitenden Bildern entnommen werden.

Bild 6:

Laser Type	TRUMPF TLC 105, built in 1994
Max. Power	12 kW
Power during welding	7.4 kW
Accuracy	See Ball Bar Test Results
Focal Length	350 mm
Welding Speed	800 mm/min
Product welded	W501 GR / GRT Rows 1-4
Inner Shielding Gas	100 % He
Volume	12 Scales
Outer Shielding Gas	90% He / 10% Ar
Volume	6 Scales
Shielding Gas Nozzle	2 x 2 mm Piping Tubes
Distance Nozzle to Workpiece	35 mm
Distance Tubes to Workpiece	8 mm
Diameter of Laser Beam	30 mm
Welding Passes	1 Pass
Backing Gas	90% N <sub>2</sub> / 10% H <sub>2</sub>
Vision System	Internal HeNe
Max. Stickout Welded	1.2 mm
Rotary Table	Fa. Franke GmbH, Aalen D20/80

Bild 7:



### 3. Schweißprozess

Entsprechend der zur Verfügung stehenden Ausstattung musste die Schweißung in einer geneigten Steignahposition, Fallnahposition und Querposition ausgeführt werden. Das Schweißen in waagerechter Position hätte die Aufgabe um ein vielfaches vereinfacht. Zur Beherrschung der einzelnen Schweißpositionen und eines fehlerfreien Start-Stop-Bereiches einer geschlossenen Schweißnaht war Richtung, Geschwindigkeit und Laserleistung mit den allgemeinen Einflussfaktoren wie Spaltbreite und Schaufelüberstand zu optimieren. Einige Einflüsse und Ergebnisse sollen hier beispielhaft diskutiert werden.

Problem	Ursache	Wirkung
Spalt zwischen Außenring und Schaufel	größer 0,2 mm	Porenbildung, Risse Einseitige Schweißung im Wurzelbereich
herausstehende Schaufel (nicht bündig mit Ringoberfläche)	größer 1mm	ungenügende Durchschweißung Problem der genauen Positionierung mit dem Lichtpunkt
einstehende Schaufel	größer 0,2 mm	Wurzelrückfall
Verunreinigung im Fügespalt	Schleifstaub, Farbe, Öl	Porenbildung
Dicke der Heftschweißung	zu gering	Riss, Schweißverzug, versetzte Schweißnaht
Dicke der Heftschweißung	zu dick und ungleichmäßig	ungenügende Durchschweißung
fehlendes Schutzgas	falsche DüsenEinstellung	fehlende Durchschweißung oder Porenbildung
fehlendes Schutzgas auf der Wurzelseite	Vorrichtung undicht	grobe unsaubere Wurzeloberfläche schlechtere Oberflächenrissprüfung
nicht eingehaltene Schweißreihenfolge	falsches Protokoll oder Vorgabe	Heftschweißung reißt, starker Verzug, ungleichmäßiger Fügespalt
Schweißposition und Richtung	Wechsel von Querposition in Steignahtposition	eingefallene Nahtoberfläche (Untermaß im Nahtquerschnitt)

#### 4. Zusammenfassung

Mit diesem kurzen Einblick in die Parametervielfalt und Parameterwirkung ist für eine Fertigungsorganisation dieser Leitscheiben folgende Zusammenfassung generell gültig.

Die Fertigungsplanung hat genaue Vorgaben zur Protokollierung von geometrischen Gegebenheiten und Arbeitsabläufen vorzugeben damit der Einfluss unterschiedlicher Parameter eingegrenzt werden kann. Für das Verständnis und das Optimieren der anspruchsvollen Fertigung muss die Wirkung einzelner Einflüsse aus der Vielzahl der Parameter durch längerfristige Fertigungserfahrungen vertieft werden.

Bezogen auf die Probleme beim Schweißen ist eine Montage der Schaufeln mit geringster Nacharbeit der gefrästen Konturen und ein gleichmäßiges Heften zwingende Voraussetzung für gleichbleibende Schweißnahtqualität. Alle Einstellungen des Schutzgasregimes sind vor dem Schweißen zu kontrollieren und ohne stabile Montage-Schweißvorrichtungen und Glühvorrichtungen ist die Fertigung nicht durchführbar.

Wenn in der beschriebenen Form die Arbeiten ausgeführt werden, können die in Bild 7 gezeigten Schweißnahtqualitäten am Bauteil erreicht werden. Mit diesen sehr anspruchsvollen Bauteilen konnte erstmalig im Oktober 2000 der neueste Gasturbinentyp W501G problemlos den Vollastbetrieb mit 250MW elektrische Leistung aufnehmen.

Bild 8:

