

Selektive Beschichtung im eingebauten Zustand

## Turbinen und Generatoren – Kosten und Reparaturzeiten senken

**Turbines and generators – Saving costs and time during repair by using selective plating under built-in conditions**

Häufig wird erst im Verlauf einer Revision von Turbinen und Generatoren ein Schaden an Lagern oder Wellen festgestellt, der den geplanten Fertigstellungs- oder Inbetriebsetzungstermin in Frage stellt. Mit dem vorgestellten elektrochemischen Beschichtungsverfahren eröffnet sich eine Möglichkeit, derartige Schäden mit einem minimierten Mehraufwand dauerhaft zu beseitigen. Die Reparatur wird im eingebauten, teilzerlegten Zustand durchgeführt. Damit entfallen die hohen Kosten für eine Demontage bzw. Transport zum Hersteller sowie die Verlängerung der Ausfallzeiten.

### SUMMARY OF THE REPORT

Often a damage of bearings or shafts is observed during a revision of power plants, which leads to an extension of time till finish of work. The here presented electrochemical plating technology allows to repair these damages durable with a minimized increase of costs. The repair can be done built-in, with a minimum of disassembly. This saves the costs for a complete dismantling and transport to the manufacturer and the elongation of time for the repair.

Norbert Ahrens ist Geschäftsführer der Ahrens Maschinenbau GmbH, Berne; Dipl.-Ing. Bernd Packulat ist Mitarbeiter der Hamburgischen Electricitäts-Werke AG, Hamburg; Dr.-Ing. Theo Pintat, Ingenieurbüro Dr. Theo Pintat, Ritterhude, ist öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für metallische Werkstoffe und Geschäftsführer der International Technology & Products ITP GmbH.

Der Wettbewerbsdruck in der Elektrizitätsversorgung führte in den letzten Jahren durch das erhöhte Kostenbewusstsein in den konventionellen Kraftwerken zur Verlängerung der Zeiträume zwischen den Turbinen- bzw. Generator-Revisionen.

Wurden in den siebziger Jahren Revisionen noch alle zwei bis vier Jahre durchgeführt, so werden heute Großrevisionen nach acht, in besonderen Fällen erst nach 12 bis 16 Jahren eingeplant und durchgeführt. Wird bei den dazwischen liegenden Teil- bzw. Kurzrevisionen ein Schaden an Lagern, Wellen oder Labyrinthdichtungen bemerkt, so fehlt häufig ein Verfahren, das eine kurzfristige Reparaturzeit und den Betrieb bis zur nächsten Großrevision oder sogar darüber hinaus sicherstellt.

Inbetriebsetzungsfehler nach Neuerrichtung oder Reparatur ziehen ebenfalls Schäden nach sich. Um den Übergabe- oder Inbetriebnahmetermin sicherzustellen, liegt es dann im gemeinsamen Interesse von Auftraggeber und Auftragnehmer, eine schnelle Instandsetzung unter Wahrung der Qualität durchzuführen.

Das im folgenden vorgestellte Verfahren zum selektiven elektrochemischen Aufbau ist seit Jahren in verschiedenen Bereichen als Beschichtungs- wie auch Aufbauverfahren im Einsatz, jedoch wird dessen Potential bei weitem nicht ausgeschöpft. Typische Einsatzbereiche für Reparaturen sind:

- Druck- und Papierindustrie: Druck- und Trockenwalzen
- Schiffbau: Schiffsmaschinen und Getriebe
- Luftfahrtindustrie: Wellen, Getriebe
- Chemie/Pipeline: Großarmaturen und Kompressoren
- Kraftwerke: Turbinen und Generatoren, Großarmaturen.

In den meisten Anwendungen werden Lager oder Oberflächen mit besonderen Anforderungsprofilen in Teilbereichen oder ganz aufgearbeitet. Mit einer Belastbarkeit, die je nach Auslegung den ursprünglichen Zustand übertrifft. Die Haftfestigkeiten der aufgetragenen Schichten liegen über 420 N/mm<sup>2</sup> und damit deutlich über den Belastungen, die auf eine typischerweise aufzutragende Schicht von 1 bis 2 mm Dicke wirken. Die Haftung wäre selbst ausreichend bei Wellendurchmessern von 1 m für Drehzahlen von 10 000 min<sup>-1</sup>, die jedoch im Bereich des europäischen Dachverbandes der Etso (50 Hz => 3 000 min<sup>-1</sup>) bei weitem nicht erreicht werden.

### Das Verfahren – Selektives elektrochemisches Beschichten/Aufbauen

Bei dem Verfahren wird, im Gegensatz zur herkömmlichen elektrochemischen Beschichtung in Bädern, der Elektrolyt selektiv der zu beschichtenden oder neu aufzubauenden Fläche zugeführt. Bild 1 zeigt den Vorgang schematisch.

### Schematische Darstellung

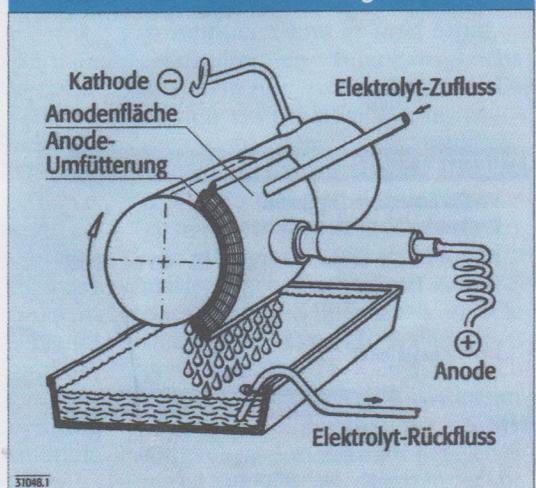


Bild 1. Schematische Darstellung des Verfahrens der selektiven elektrochemischen Beschichtung



Dabei wird durch eine gezielte Störung der bei jedem Vorgang dieser Art vorliegenden, elektrochemischen Doppelschicht die Auftragsrate erhöht und gleichzeitig die Haftung und Oberflächenqualität der Beschichtung verbessert. Das Ergebnis sind dichte, glatte Oberflächen mit sehr guten Verschleiß-eigenschaften (*Bild 2*).

Die Arbeitsweise ermöglicht ein Auftragen im teilzerlegten Zustand. Die in *Bild 3* dargestellte Reparatur einer Labyrinthdichtung konnte ohne den Ausbau des Läufers durchgeführt werden. *Bild 4* zeigt die instandgesetzten Bereiche vor und nach der Reparatur.

Die Arbeitsschritte der Reparatur waren:

- Entfetten
- Beizen
- Aktivieren
- Auftragen einer Haftschrift (optional)
- Beschichten/Auftragen
- mechanische Nachbearbeitung.

Die Wirkung der eingesetzten Wirkstoffe wird durch geeignete Maßnahmen (Maskierung, Abdecken, usw.) auf die zu beschichtende Fläche beschränkt. Damit wird jeder Kontamination anderer Bereiche vorgebeugt.

Das Verfahren wurde auch im aktiven Teil (heißer Bereich) von Kernkraftwerken in verschiedenen westeuropäischen Ländern erfolgreich angewendet. In Holland wurde z. B. ein Leck im Gehäuse einer Turbine repariert, die mit direkt im Reaktor generierten Dampf betrie-

ben wird. Ausschlaggebend für den Einsatz des Verfahrens war in diesem Fall, dass im Vergleich zu Schweißverfahren nur sehr geringe Eigenspannungen in das Bauteil eingebracht werden. Weiterhin wurden Kühlwasserpumpenwellen im Dichtungsbereich aufgearbeitet.

#### Auftragswerkstoffe

Für eine Aufarbeitung stehen eine Vielzahl von unterschiedlichen Werkstoffen zur Verfügung, für deren spezifischen Einsatz bereits GL-MIL- oder andere Spezifikationen vorliegen. Die Verwendung von Grundwerkstoffen wie NiCrMo für Läuferwellen und RSt37-2 für Schildlagergehäuse erlaubt nur die Verwendung von Schichtwerkstoffen gleichen Härteniveaus, da sonst die Unterschiede zwischen Grundwerkstoff und Schicht zum »Eierschalen-Effekt« und damit zur Ablösung der Schicht führen können. Die Härte der aufgetragenen Schichten variiert je nach Werkstoff und Abscheidebedingungen, so dass für die meisten Grundwerkstoffe eine optimale Werkstoffpaarung eingestellt werden kann. In *Tafel 1* sind Schichtwerkstoffe und deren Härte für das hier vorliegende Anwendungsgebiet aufgeführt.

Die Standfestigkeit der Schichten ist einer konventionellen Reparatur gleichwertig. In jedem Fall kann bei normaler Beanspruchung mit einer Einsatzzeit von acht und

mehr Jahren gerechnet werden. Ein Beispiel für das hier anvisierte Einsatzgebiet ist die Aufarbeitung der Labyrinthdichtung einer Gasturbine (Durchmesser rd. 900 mm, Drehzahl 6 800 min<sup>-1</sup>). Die Anlage läuft nach der Instandsetzung seit sechs Jahren ohne Beanstandung.

#### Behandlungsdauer

Zu den Zeiten für eine Freilegung der Lagerbereiche entstehen, je nach Schwere des Schadens, Beschichtungs- und Nachbearbeitungszeiten zwischen zwei und sieben Tagen. Die Aufstellung der Kosten und Ausfallzeiten bei Anwendung des selektiven elektrochemischen Aufbaus im Vergleich zu einer konventionellen Bearbeitung (*Tafel 2*) verdeutlicht die mögliche Zeit und Kostenersparnis.

#### Anwendungen

Aus der Kraftwerkspraxis sind folgende Befunde bekannt, bei denen das Verfahren zur Schadensbeseitigung eingesetzt werden kann:

- Beschädigung der Wellenoberfläche (Riefen) im Bereich des Gleitlagers durch Ölverschmutzungen (Fremdkörper).



*Bild 2. Metallographischer Schliff durch eine elektrochemisch aufgebaute Reparaturbeschichtung*



*Bild 3. Reparatur der Labyrinthdichtung einer Gasturbine*



Bild 4. Reparierte Labyrinthdichtung einer Gasturbine  
oben vor der Reparatur  
unten nach der Reparatur

Tafel 1

Basiswerkstoff	Härte	
	HRC	HB
Nickel	46 bis 56	445 bis 565
Nickel-Kobalt	47	450
Nickel-Wolfram	65	725

Tafel 1. Schichtwerkstoffe für Reparaturen von Lagern und Wellen

- Beschädigungen der Wellenoberfläche (Riefen) im Bereich des Dichtlagers an wasserstoffgekühlten Generatoren durch Ölverschmutzungen (Fremdkörper).
- Beschädigungen (Ausstrahlungen durch das Betriebsmedium) der Wellenoberflächen im Bereich der Labyrinth an Gas- und Dampfturbinen.
- Beschädigungen (Ausstrahlungen durch das Betriebsmedium) der Dichtflächen von Turbinengehäusen der Gas- und Dampfturbinen.

#### Zusammenfassung

In diesem Aufsatz kann nur ein kleines Spektrum der Einsatzmöglichkeiten des selektiven elektrochemischen Beschichtens dargestellt werden. Durch dieses Verfahren können bis zu 70 % der konventionell entstehenden Kosten und Ausfallzeiten für die Reparatur von Generatoren und Turbinen eingespart werden. Die Qualität der Reparatur ist mit der bei konventionellen Vorgehensweisen vergleichbar. Das elektrochemische Beschichten stellt somit eine kostensparende Alternative dar.

(31048)

Tafel 2

Reparaturbeispiel	Dauer Tage	Kosten	
		Mannstunden	DM
konventionell	22		220 000
Ein und Ausbau	15	960	120 000
Hin- und Rücktransport (2 x 1 Tag)	2		20 000
Bearbeitung (Maschinenstunde rd. 2 000 DM)	5	40	80 000
selektiv elektrochemische Beschichtung	7	360	72 000
Ersparnis	15		148 000

Tafel 2. Vergleich der Kosten und Reparaturzeiten für die Instandsetzung der Labyrinthdichtung einer Gasturbine

info@itp-pintat.de