

# 50. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium

September, 19-23, 2005

**Maschinenbau  
von Makro bis Nano /  
Mechanical Engineering  
from Macro to Nano**

**Proceedings**

Fakultät für Maschinenbau /  
Faculty of Mechanical Engineering

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

## Impressum

- Herausgeber: Der Rektor der Technischen Universität Ilmenau  
Univ.-Prof. Dr. rer. nat. habil. Peter Scharff
- Redaktion: Referat Marketing und Studentische Angelegenheiten  
Andrea Schneider
- Fakultät für Maschinenbau  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Kurtz,  
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. med. (habil.) Hartmut Witte,  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Gerhard Linß,  
Dr.-Ing. Beate Schlütter, Dipl.-Biol. Danja Voges,  
Dipl.-Ing. Jörg Mämpel, Dipl.-Ing. Susanne Töpfer,  
Dipl.-Ing. Silke Stauche
- Redaktionsschluss: 31. August 2005  
(CD-Rom-Ausgabe)
- Technische Realisierung: Institut für Medientechnik an der TU Ilmenau  
(CD-Rom-Ausgabe) Dipl.-Ing. Christian Weigel  
Dipl.-Ing. Helge Drumm  
Dipl.-Ing. Marco Albrecht
- Technische Realisierung: Universitätsbibliothek Ilmenau  
(Online-Ausgabe) [ilmedia](#)  
Postfach 10 05 65  
98684 Ilmenau
- Verlag:  Verlag ISLE, Betriebsstätte des ISLE e.V.  
Werner-von-Siemens-Str. 16  
98693 Ilmenau

© Technische Universität Ilmenau (Thür.) 2005

Diese Publikationen und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt.

ISBN (Druckausgabe): 3-932633-98-9 (978-3-932633-98-0)  
ISBN (CD-Rom-Ausgabe): 3-932633-99-7 (978-3-932633-99-7)

Startseite / Index:

<http://www.db-thueringen.de/servlets/DocumentServlet?id=15745>

W. A. Valetov / D. V. Vasilkov / S. Y. Ivanov

## Einrichtung zur zerstörungslosen Kontrolle der Restspannungen in Maschinen- und Geräteteilen

Die SITON-Apparatur ermöglicht die Messung mechanischer Spannungen (Technische-, Rest- und Betriebsspannungen) in Oberflächen des Metalls durch die zerstörungsfreie Methode des APFC (Amplituden - Phasen - Frequenz - Charakteristik) – Tests. Die Apparatur besteht aus dem Mobilmodul, dem Elektrokontaktgeber und einem Notebook oder PC (Abb.1).



Abb.1 Außenansicht der Apparatur SITON-APM (stationär)

Die APFC –Testmethode wird mittels Durchleitung des elektrischen Stroms mit der Wechselstromfrequenz durch den zu untersuchenden Bereich der Oberfläche realisiert. Das mobile Modul steuert im automatischen Ablauf die Frequenz des Messsignals. Der spezielle Algorithmus ermöglicht es, aus den gemessenen Stromwerten, die Größe der Durchschnittsspannungen in der h-Schicht zu ermitteln und nachfolgend die Umrechnung in das Spannungsintegral und die realen Spannungen durchzuführen. Das Scanning verwirklicht sich in 3-24 Stufen je nach Gerätemodifikation. Es gibt bereits genügend Anwendungserfahrung dieser Apparatur durch diverse Maschinenbauunternehmen[1, 2].



Abb.2 Außenansicht der Apparatur SITON-III (mobil)

Die Apparatur hat folgende Zwecksbestimmungen:

- Bestimmung der Rest- und Betriebsspannungen  $\sigma$ , MgPa in den Oberflächen des Metalls und der Legierungen durch die zerstörungslose Methode in den Schichttiefen  $h_1, h_2, \dots, h_{\max}$ .
- ununterbrochene zerstörungsfreie Kontrolle, Kontrolle der Technologie-stabilität, Ausmusterung der Produktion, Qualitätskontrolle von Schweißnähten
- Erhöhung der Arbeitssicherheit und Typenzulassung der Spannungs-deformationszustände bei Stahlkonstruktionen, Prognose der Restnutzungsdauer

Zurzeit gibt es zwei Basismodelle:

#### **Stationäres Gerät SITON-APM**

ist der multifunktionelle mobile Apparat (Abb.1), der mit dem PC verbunden ist. Die Anzahl der Scanningstufen beträgt 24. Die Fehlertoleranz der Messung von mechanischen Spannungen beträgt 20...40 MgPa. Die Messbasis ist 35mm. Die maximale Tiefe der Spannungsmessungen ist 2,5mm für Stahl. Der elektronische Speicher ermöglicht der Messdatenerfassung. Die autonome Stromversorgung reicht für ca. 250 Messungen.

#### **Mobiles Gerät SITON-III.**

Dieses Gerät (Abb.2) kann autonom die Messdaten erfassen, die später dann an einen Rechner weitergeleitet werden. Die Anzahl der Scanningstufen beträgt 4 für das Basismodell. Die Fehlertoleranz der Messung von mechanischen Spannungen beträgt 20...60 MgPa. Das Messbasis ist 35mm. Die maximale Tiefe der Spannungsmessungen ist 2,5mm für Stahl. Die Stromversorgung reicht für 2 Arbeitsstunden.

Den Charakter der Restspannungsverteilungen zeigt die Spannungskurve (Abb.3). Für den Vergleich der Kurven als Funktionen ist spezielle mathematische Software erforderlich, die hilft, die metrischen Korrelationen und Funktionale zu berechnen.

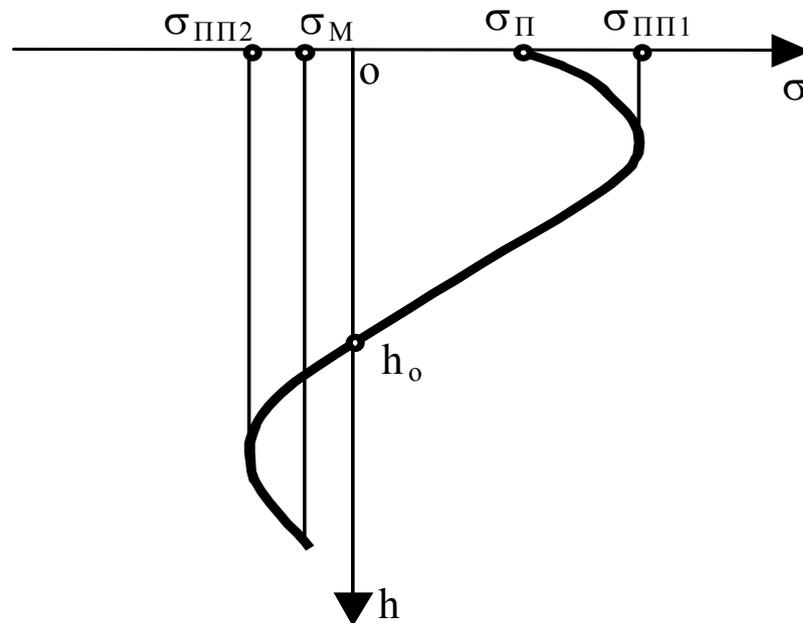


Abb.3 Sonderpunkte der Restspannungskurve

Für den praktischen Zweck, ist es besser die Parametrisierung der Spannungskurve durch die Einführung der folgenden Werte durchzuführen:

- $\sigma_{II}$  – Oberflächenspannung, MgPa;
- $\sigma_{III1}$  – maximale Oberflächenspannungen 1 bis zum Nullpunktübergang, MgPa;
- $\sigma_{III2}$  – maximale Oberflächenspannungen 2 nach dem Nullpunktübergang, MgPa;
- $\sigma_M$  – Spannung an der Auslauf der Kurve, MgPa;
- $h_0$  – Punkt der Nullpunktübergang der Kurve, mm.

Diese Parameter stellen vollständig den Charakter des Spannungszustandes in der Oberfläche des Metalls dar.

Betrachtet wird die Anwendung der SITON-Apparatur bei der Vornahme des Versuches an einem Balken mit Schweißverbindung. Die Hauptversuchsart von solchen Balken ist die zyklische Einwirkung auf das Muster an der Versuchsmaschine MUP-50 und der periodischen

Kontrolle der Restspannungen mittels der zerstörungsfreien Methode des APFC -Tests durch das Gerät SITON- AAP (Automatisierte Arbeitsplatz).

Es wurde ein Schweißbalken aus Stahl EH40 ( $\sigma_T = 390 \text{ MgPa}$ ;  $\sigma_B = 550 - 650 \text{ MgPa}$ ) auf Zeitbiegung hin geprüft. Die Frequenz des Lastangriffes (Pulsieren) beträgt 500 Zyklen/Min.

Die geometrischen Eigenschaften des Balkens und das Schema des Lastangriffs sind in der Abb.4 dargestellt (Angaben in mm). Die angewandte Kraft P beträgt 0,02 bis 0,24 MgN.

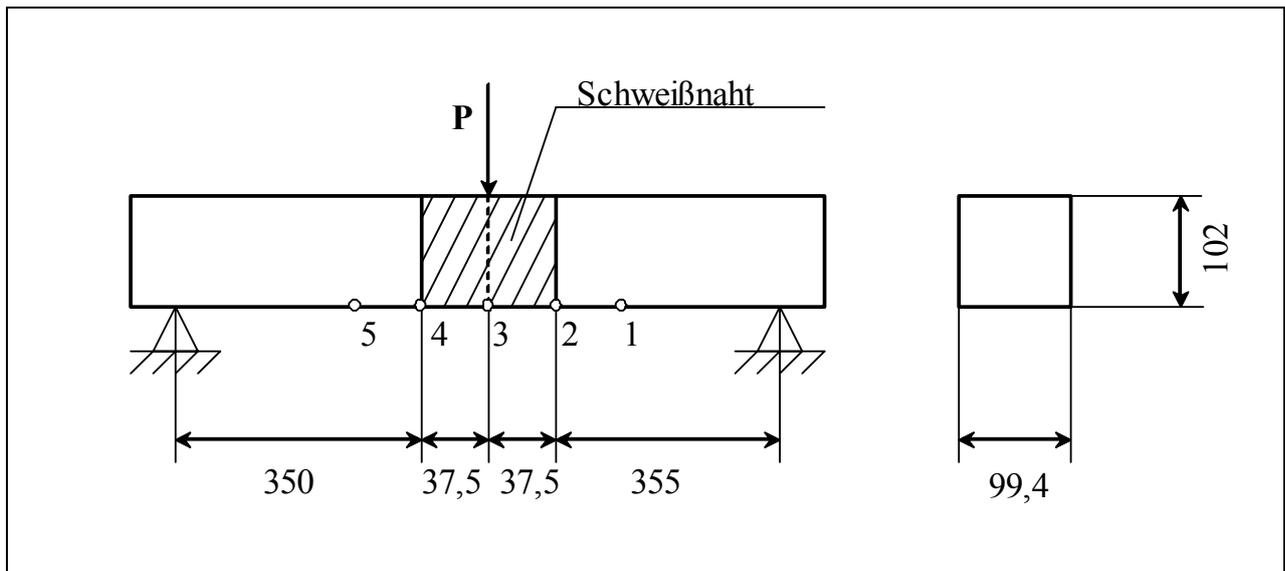


Abb.4 Balkenschema mit fünf (1-5) Messpunkten 1 und 5 – außerhalb des Schweißnahtbereich; 3 – Schweißnaht; 2 und 4 – die Grenze „Schweißnaht-Balken“

Im Laufe des Versuches wurden in den Punktenbereichen (Abb.4 und 5), die in der Abb.4 gezeigt sind, die Messungen der Restspannungen nach jeweils 100.000 Lastzyklen (104.200, 189.700, 303.000, 397.000, 431.800) mit Hilfe des SITON-AAP durchgeführt.



Abb.5 Sensor, positioniert im vierten Punktbereich

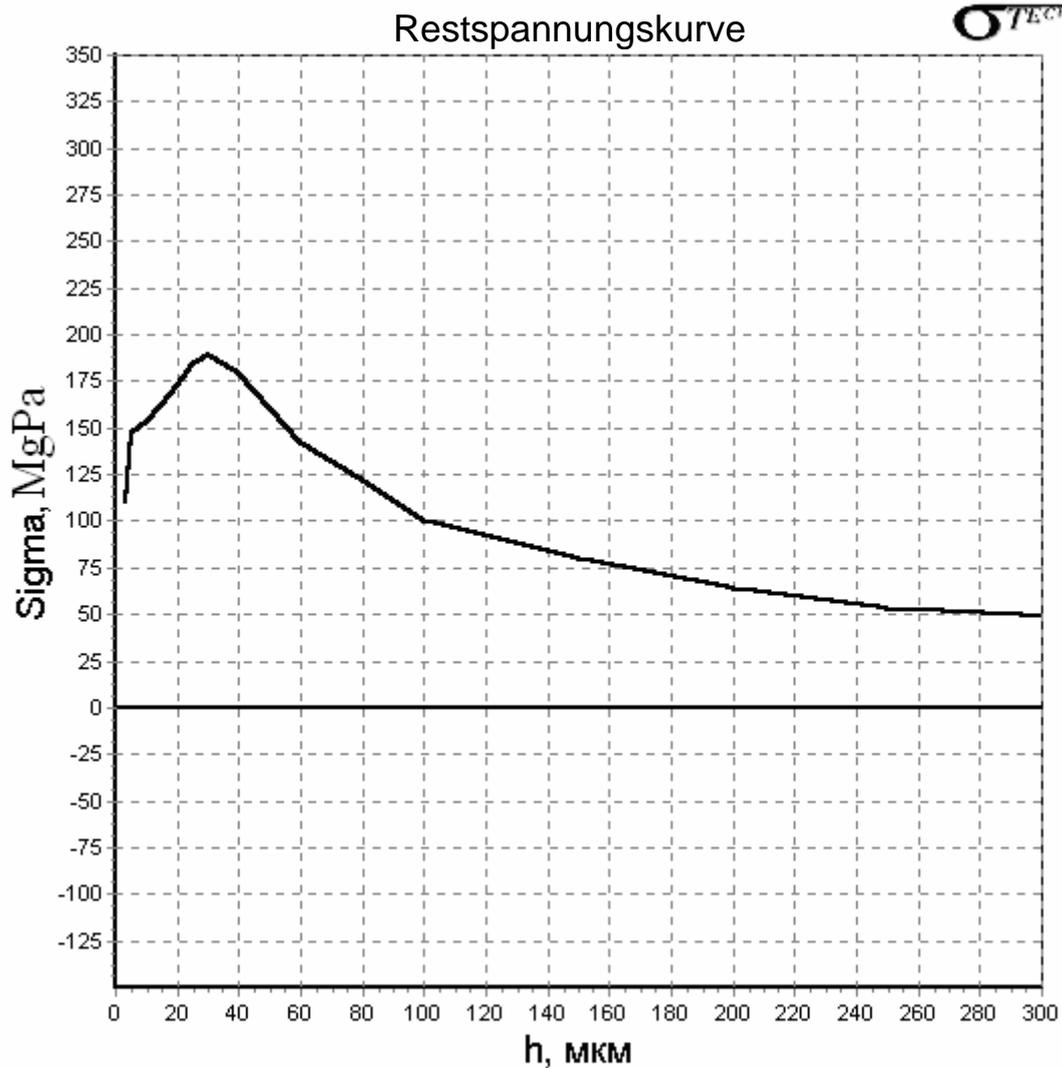


Abb.6 Typische Restspannungskurve bis zu 303.000 Lastzyklen

Nach der Messung der Restspannungskurven wurden diese analysiert und folgende Ergebnisse festgestellt:

1. Die einheitliche Richtlinie der Restspannungsverteilung bleibt in allen Messpunkten (1 - 5) bis zum 303.000 Lastzyklus erhalten (Abb.6).
2. Nach 397.000 Lastzyklen senkte sich das Restspannungsniveau bemerkbar und im Bereich des zweiten Messpunktes auf der Tiefe mehr als 150 mkm von 60-75 MPa bis 25-30 MgPa. Nach 431.800 Lastzyklen und einem Restspannungswert von 0-25MPa erfolgte die Zerstörung des Balkens.

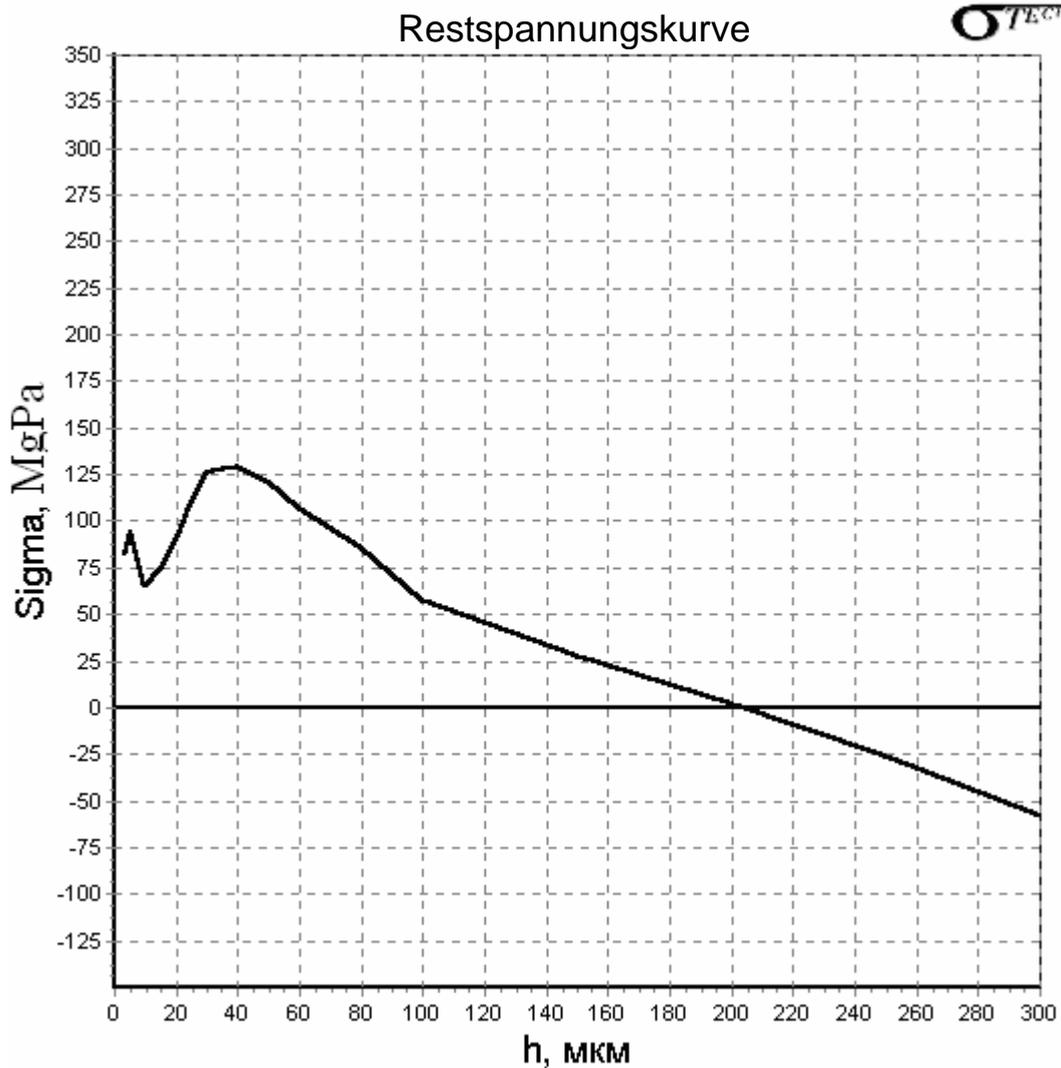


Abb.7 Relaxation der Restspannungen nach 397.000 Lastzyklen

3. Nach 397.000 Lastzyklen im Bereich des vierten Messpunktes wurde vor der Erscheinung von sichtbaren Schäden, eine Anomalie der Restspannungskurve festgestellt, die sich als große Spannungsrelaxation an der ganzen Kurve zeigt (Abb.7). Die Oberflächenspannungen sind von 180 MgPa auf 125 MgPa gesunken. Ab der Tiefe 200mkm erfolgte die Flussumkehr der Spannungen, bis zu 50 MgPa auf der Tiefe 300mkm.

4. Die Zerstörung des Balkens erfolgte an der Grenze der Schweißverbindung im Bereich des vierten Messpunktes nach 431.800 Lastzyklen, d.h. nach 348.000 Lastzyklen und Ermittlung der Anomalie in der Restspannungskurve.

5. Nach der Zerstörung des Balken bleibt die anomale Tendenz der Restspannungskurve übrig.

Die Ergebnisse des Versuches haben gezeigt, dass die zerstörungslose Methode des APFC-Tests mit Hilfe der SITON-Messeinrichtung geholfen hat, den Punkt und Zeitpunkt der Zerstörung des Musters vorherzusagen. Die Beschränkung von restlichen Ressource des Balken ist nach 400.000 Lastzyklen des Versuches durch die aktive Relaxation der Restspannungskurve vor 348.000 Lastzyklen vor der Zerstörung entstanden. Bei der Vermessung der Restspannungen nach jeweils 100.000 Lastzyklen hat sich die Kurve praktisch nicht geändert, was über die Gesamtheit des Musters, restlichen Ressource und Versuchsfort-setzungsmöglichkeit bis zur nächsten Vermessung spricht.

#### **Literatur:**

- [1] Валетов В.А., Иванов С.Ю. Проблемы комплексной оценки и контроля характеристик поверхностного слоя деталей машин, приборов и систем. Инструмент и технологии, 2002 г., с. 164-167.
- [2] Васильков Д.В. Иванов С.Ю. Васильев Д.В. Применение аппаратуры СИТОН для исследования технологической наследственности при изготовлении деталей летательных аппаратов. Инструмент и технологии, 2004 г., № 19-20, с. 24-30

#### **Autorenangaben:**

Prof. Dr. habil. W.A. Valetov

Universität für Informationstechnologien, Mechanik und Optik St. Petersburg

Sabilinskaja ul. 14,  
197101 St. Petersburg, Russland

Tel.: +7 812 233-58-98

E-Mail: valetov@tps.ifmo.ru