

Optimierung und Überwachung eines Pressprozesses in der Serienproduktion mittels Schallemission

Jens FORKER, Hartmut VALLEN, Vallen Systeme, Icking
Kurt OBRIST, PFISTERER SEFAG, Malters, Schweiz

Kurzfassung. Eine Machbarkeitstudie wies nach, dass sich Pressvorgänge, die einen GFK-Stab schädigen von nicht schädigenden Pressvorgängen in der Schallemissions-Energierate um den Faktor 100 bis 1000 unterscheiden, wobei der Sensor an der feststehenden Pressbacke der Maschine angebracht war. Anforderungen an ein industrie-taugliches Equipment für diese Anwendung werden identifiziert. Die Realisierung eines industrie-tauglichen Gerätes wird erläutert.

1. Problem

Bild 1 zeigt das Aufpressen einer Armatur auf einen GFK-Stab mittels einer Hydraulikpresse, Bild 2 zeigt zwei unterschiedliche Armaturformen auf dem Stab (bereits aufgedrückt), Bild 3 zeigt eine Hälfte des fertigen Produkts „Hochspannungsisolator“.



Bild 1 Aufpressen einer Armatur auf einen Stab



Bild 2 nach der Pressung



Bild 3 Fertiges Produkt

Der Isolator soll schwere Hochspannungskabel elektrisch vom Mast isolieren und mechanisch tragen. Die Armatur-Stab-Verbindung muss sehr zuverlässig sein. Das Versagen einer Verbindung kann den Absturz oder das Durchhängen einer Hochspannungseitung zur Folge haben, d.h. Menschenleben sowie Umwelt gefährden und die Funktion beeinträchtigen bzw. zur Betriebsunterbrechung führen.

Ist der Pressdruck zu hoch, dann wird der GFK-Stab im Innern der Armatur beschädigt. Dies führt zum Versagen des GFK-Stabes bei Zugbelastung unterhalb der Nennbelastung. Ist der Pressdruck zu niedrig, dann rutscht der GFK-Stab vor Erreichen der Nennbelastung aus der Armatur. Das bedeutet, der Prozess muss so optimiert werden, dass eine möglichst hohe Pressung aber keine schädigende Überpressung erfolgt.

Eine grundlegende Analyse der Problematik findet sich in [1] und [2]. Beide Studien nutzen die Schallemissionsprüfung an Ausziehversuchen, um Ergebnisse von theoretischen Analysen und numerischen Simulationen zu verifizieren.

Hersteller und Verarbeiter prüfen Hochspannungsisolatoren stichprobenartig durch zerstörende Zugprüfung. Es besteht ein offensichtlicher Bedarf für eine Online-Prüfung des Pressprozesses, die sofort problematische Einzelexemplare oder unbeabsichtigte Veränderungen von Prozessparametern identifiziert. Weiter könnte sie dazu genutzt werden, die optimalen Werte der Prozessparameter Druck und Pressdauer experimentell zu bestimmen. Die erste Veröffentlichung einer Online-Untersuchung des Pressprozesses mittels Schallemission fanden wir 2001 in [3] Dort wird vorgeschlagen, den zeitlichen Verlauf der Hitrate auszuwerten.

2. Realisierung einer Online Überwachung des Pressprozesses

2.1 Machbarkeitsstudie

2001 führten wir eine erste Machbarkeitsstudie durch. Wir stellten folgendes fest:

- im Frequenzbereich 300-700kHz ergibt sich ein höheres Signal-Rausch-Verhältnis als im Bereich 100-300kHz („Rauschen“ schließt auch unerwünschte Störeinflüsse ein).
- Der Sensor kann auf die feststehende Pressbacke gekoppelt werden, die übertragene Energie ist reproduzierbar und ausreichend. (Siehe Bild 4).
- 40dB Schwelle ist ausreichend empfindlich.
- Störeinflüsse, die beispielsweise beim Aufpressen einer Armatur auf einen Stahlstab als solche nachgewiesen werden konnten, sind für die Detektion der Überpressung vernachlässigbar. Eine Überpressung kann an einem Anstieg der Energierate um Faktor >10-1000 festgestellt werden.



Bild 4 Sensor an feststehender Pressbacke angeklebt

Bild 5 und 6 stammen von Daten der ersten Machbarkeitsstudie.

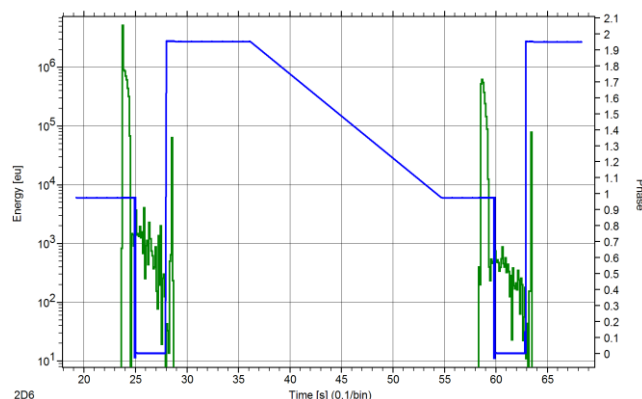


Bild 5: Energierate beim Aufpressen auf Stahlstab

Bild 5 zeigt in grün die Energierate (linke Skala) pro 0,1s über der Zeit während zweier Pressungen an einem Stahlstab.

Die blaue Kurve (rechte Skala) zeigt Prozessphasen an:

- Phase 1: Anfahren (zB 19-25s)
- Phase 0: Druckanstieg und Halt (zB 25-28s),
- Phase 2: Druckabfall am Ende (28s)

Diese Messung ist Grundlage zur Bewertung der von der Maschine selbst erzeugten Schallemission. Man sieht kurzzeitig höhere Energieraten, wenn die Pressung beginnt und endet. Dies ist durch das mechanische Aufsetzen bzw. Abheben der Pressbacken erklärbar.

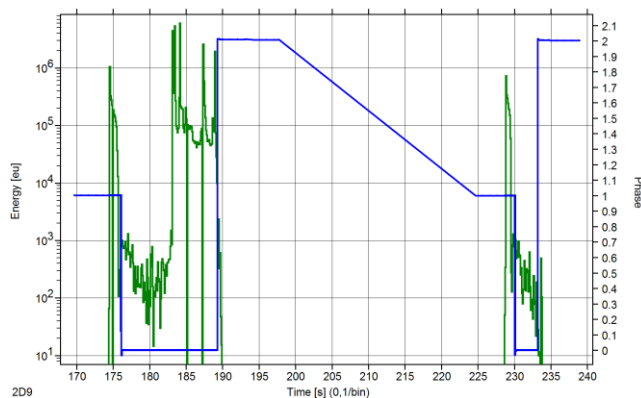


Bild 6 Energierate für fehlerhafte (li.) und gute Pressung (re.) eines GFK Stabs D 18,5mm

Bild 6 zeigt ab 175s eine Pressung eines GFK Stabs mit verlängerter Druckhaltephase. Ab 183s erhöht sich die Energierate um Faktor 100-1000, was eine Schädigung der Probe anzeigt. Bei 228s beginnt der zweite, „gute“ Pressvorgang, bei dem die Energierate mit der der Prüfung des Stahlstabs vergleichbar ist.

Male zurückgegangen, während die Hitrate (nicht gezeigt) stark schwankt. Dies bedeutet, dass die Hitrate (bei fixer Schwelle) weniger aussagekräftig ist als die Energierate. Das führt zur Forderung nach einer schwellenunabhängigen Messung eines Amplituden- oder Energieparameters bei einer industrietauglichen Version.

Bild 6 gibt noch einen wichtigen Hinweis: Während der schädigenden Pressung im Zeitbereich 183-189s ist die Energierate nur ganz wenige

Für diese Machbarkeitsstudie verwendete Messkette: Sensor VS900-M, Sensorkabel 1,2m, Vorverstärker AEP4 34dB Verstärkung, AE-Signalprozessor: ASIPP, Filter 300-850 kHz, Schwelle: 40dB, DDT: 0,4ms, RAT: 1,6ms, AE-System: AMSY4, Hersteller: Vallen-Systeme GmbH.

2.2 Anforderungen bezüglich industrietauglichem Gerät für die Serienproduktion

Bezüglich Industrietauglichkeit haben wir folgende Anforderungen identifiziert:

- Das Gerät muss sehr einfach zu installieren und zu bedienen sein: die Serienproduktion wird von Hilfskräften bewältigt und der angemessene Aufwand für die Einweisung schnell wechselnden Personals ist äußerst limitiert. AE Expertise steht nicht zur Verfügung und aufwändige Bedienung wird nicht akzeptiert.
- Die Verwaltung des Prüfmittels „Schallemissionsgerät“ muss so einfach sein wie die eines einfachen Voltmeters.
- Das Gerät muss sofort nach dem Pressvorgang eines von drei möglichen Ergebnissen optisch und akustisch anzeigen:
 - a) „gute Pressung“,
 - b) „fragliche Pressung“, oder
 - c) „schädigende Pressung“.
- Das Produktionspersonal soll außer der Kenntnisnahme des Prüfergebnisses keine zusätzlichen Bedienungsschritte vornehmen müssen. Das bedeutet unter anderem, dass das Gerät selbständig den Beginn und das Ende des Pressvorgangs erkennen muss, z.B. am Druckverlauf, und dann die Daten dementsprechend interpretiert.
- Die korrekte Funktionsweise des Geräts muss leicht verifizierbar sein.
- Die Mechanik des Geräts muss robust und die Steckverbinder unverwechselbar sein (um fehlerhaftes Anschließen zu verhindern).
- Das Gerät soll schwellenunabhängig mindestens einen Energie- oder Amplitudenparameter messen und auswerten-

Die Summe der Anforderungen macht klar: ein für anspruchsvolle AE-Serviceprovider konzipiertes Gerät kann diese Anforderungen nicht erfüllen. Um diese Anforderungen zu erfüllen ist ein anderes Konzept erforderlich.

2.3 Marktsituation

In den Jahren 2001-2006 erhielten wir etwa 10 Anfragen nach einem (bereits industrietauglich fertig entwickelten) Gerät zur Überwachung der Pressung von Armaturen auf GFK-Stäbe. Das erschien nicht ausreichend für eine Marktrecherche oder eine eigeninitiierte Neuentwicklung. Erst Anfang 2006 informierte uns PFISTERER SEFAG AG über ein konkretes Interesse an einer Lösung und die Bereitschaft, das Projekt gemeinsam zu realisieren. Zwischenzeitlich gab es einen Prototypen des ASCO-DAQ1 Systems und der Aufwand für dessen Anpassung an diese Aufgabe war überschaubar und angemessen.

2.4 ASCO-DAQ2 für die Überwachung des Pressprozesses

ASCO-DAQ2 ist eine Kombination von einem AE Signalkonditionierer ASCO-P (für diese Anwendung Variante ASCO-PH3, 300-750kHz) und einem 4-Kanal-Datenerfassungsmodul für den USB Bus, DAQ2. Beide Module sind in einem kleinen, robusten Gehäuse untergebracht. Es wird mit einem USB-Kabel an einen PC angeschlossen, Als Betriebssystem wird Windows 2000 oder XP empfohlen.



Bild 7 ASCO-DAQ an der Hydraulikpresse

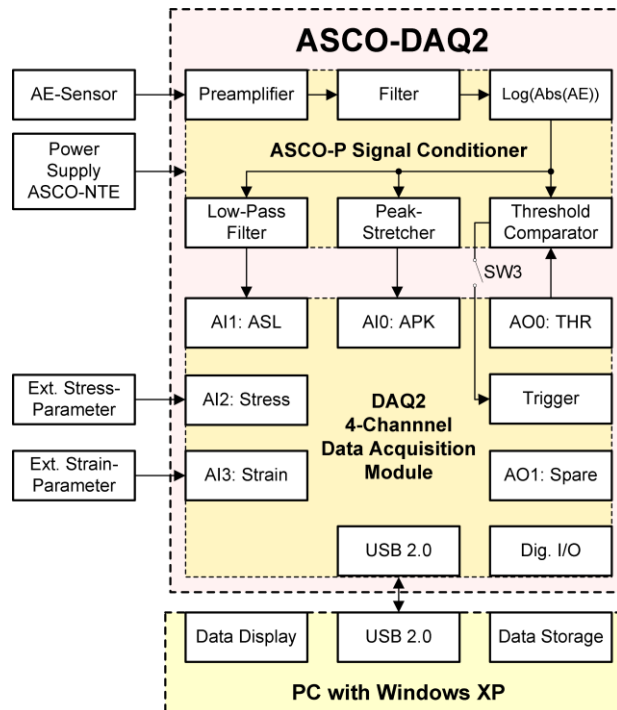


Bild 8 ASCO-DAQ2 Hardware-Funktionsblöcke

Bild 7 zeigt den ASCO-DAQ2 an der Hydraulikpresse. In Bild 8 sind die ASCO-DAQ2 Funktionsblöcke dargestellt.

Das Sensorsignal wird zunächst verstärkt, gefiltert und logarithmiert. Das logarithmierte Signal ist auf $40\text{mV/dB}_{\text{AE}}$ skaliert und gelangt an den Peak Stretcher und ein Tiefpassfilter. Im Tiefpassfilter wird es gemittelt und als Signal ASL (Average Signal Level) ausgegeben. Der Peak-Stretcher verlängert eine kurzzeitige Maximalamplitude auf etwa 50ms Dauer, d.h. ein Abtastintervall von 40ms reicht aus, auch kürzeste Spitzenamplituden auf dem Signal APK (Amplitude, Peak-) sicher zu erfassen. Die Signale ASL, APK und ein parametrisches Drucksignal werden vom Datenerfassungssystem im 10ms-Takt gemessen und gespeichert.

2.5 Anzeigebeispiele

Bild 9 ist ein Anzeigebeispiel für eine gute Pressung. Die Farben haben folgende Bedeutung:

- Braun: Druckverlauf (rechte Skala in bar),
- Blau: ASL Signal (linke Skala in dB_{AE})
- Grün: APK Signal (linke Skala)
- Gelb: Limit für „Warnung“
- Rot: Limit für „Schlecht“

Die Limit-Linien sind zweifarbig, die zweite Farbe gibt an, ob das Limit für ASL (blau) oder APK (grün) gilt. ASL blieb unter $42 \text{ dB}_{\text{AE}}$, APK unter $73 \text{ dB}_{\text{AE}}$. Der Peak von etwa 71 dB bei $6,5 \text{ s}$ wurde an der Probe als unbedeutend verifiziert.

Bild 10 ist ein Anzeigebeispiel für eine „schlechte“ Pressung: ASL überschritt $85 \text{ dB}_{\text{AE}}$, APK sogar $103 \text{ dB}_{\text{AE}}$. (Der Messbereich geht bis $106 \text{ dB}_{\text{AE}}$). Das elektrische Rauschen sieht man ganz links, vor dem Druckanstieg, es beträgt etwa $23 \text{ dB}_{\text{AE}}$ für ASL und $33 \text{ dB}_{\text{AE}}$ für APK.

Wird nur das „Warnungs“-Limit überschritten und nicht das „Schlecht“-Limit, erscheint anstelle des roten „Schlecht“-Feldes ein gelbes „Warnung“-Feld. Die Texte in diesen Feldern können frei eingegeben werden.

Die Anzeige des grünen, gelben oder roten Feldes ist mit dem Abspielen einer von 3 Wavedateien verbunden, damit das Ergebnis auch akustisch wahrgenommen wird.

2.6 Überwachungssteuerung

Nur bei der Inbetriebnahme müssen die Einstellungen (z.B. Limits und Anzeigetext) vorgenommen werden. Ansonsten muss das Programm nur gestartet und in den Erfassungsmodus geschaltet werden. Die Überwachung beginnt, wenn der Druck einen Mindestwert überschreitet und endet, wenn er wieder abfällt. Bei Druckabfall wird das Ergebnis optisch und akustisch angezeigt. Der Bediener muss nur wie gewohnt den Pressprozess starten und warten bis er fertig ist. Neu hinzu kommt lediglich, dass er angewiesen werden muss, wie mit schlechten bzw. fraglichen Pressungen zu verfahren ist.

Die Überwachungssteuerung ist natürlich abschaltbar, um die Erfassung manuell zu bedienen. Weitere Details, z.B. Datenspeicherung, Nachanalyse usw. können [4] entnommen werden.

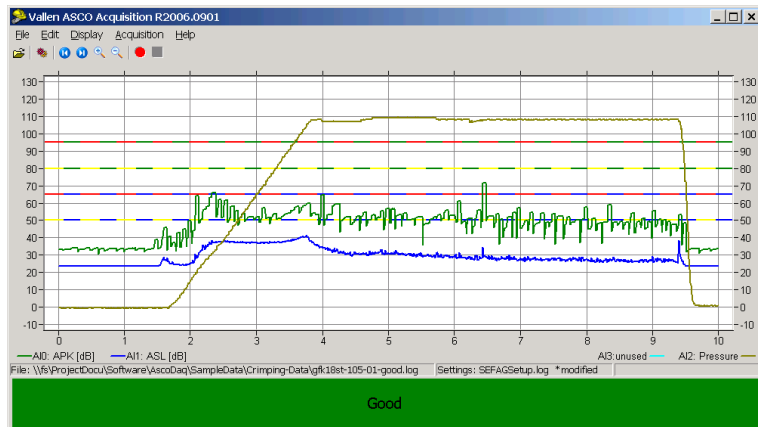


Bild 9 Beispiel für die Anzeige nach einer „guten“ Pressung.

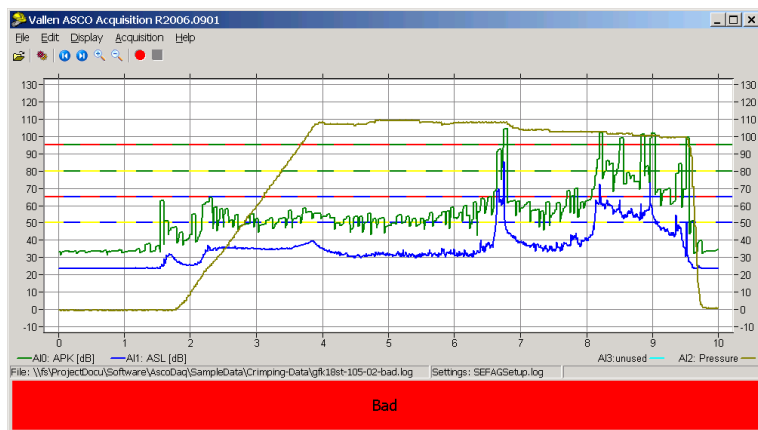


Bild 10 Beispiel für die Anzeige nach einer „schlechten“ (schädigen- den) Pressung

2.7 Zusammenfassung

Ein industrietaugliches Gerät für die Überwachung des Aufpressens von Armaturen auf GFK-Stäbe für Hochspannungsisolatoren wurde entwickelt. Die Erkennung von Überpressung, die zum Bauteilversagen führen würde, arbeitet zuverlässig. Das Gerät arbeitet schwellenunabhängig und erfordert keine Interaktion vom Bediener der Hydraulikpresse, da der Pressvorgang selbst die Datenauswertung steuert. Das Ergebnis der Überwachung (gut/schlecht/fraglich) wird direkt nach dem Pressvorgang optisch und akustisch angezeigt. Die gute Zusammenarbeit zwischen dem Hersteller der Isolatoren und dem Hersteller des AE-Gerätes war eine wichtige Voraussetzung für den Erfolg des Projektes. Das Überwachungsgerät wird seit Anfang 2007 in der Produktion eingesetzt und verhindert seitdem die Weiterverarbeitung vorgeschädigter Isolatoren.

2.8 Verbesserungspotential

[3] schlägt vor, auch die Unterpressung mittels Schallemission zu detektieren. Eine Machbarkeit könnte abgeschätzt werden, wenn Daten einer ausreichenden Zahl von unterpressten und "guten" Pressvorgängen systematisch gesammelt würden.

Eine Stärkung der Diskriminierungsfähigkeit von Schädigung und Nicht-Schädigung könnte wie folgt erreicht werden: durch numerische Invertierung der analogen Logarithmierung jedes ASL-Messwerts, Subtrahieren eines Grundlevels (Hintergrundrauschen), und Integration des positiven Rests. Dies wurde absichtlich nicht durchgeführt, um die Wirkungsweise, insbesondere die Festlegung der Akzeptanzkriterien (Limits) möglichst einfach zu halten und nicht durch die Einführung eines weiteren Parameters „Grundlevel“ komplexer zu gestalten.

Referenzen

- [1] Kumosa M, Han Y, Kumosa L, Analysis of composite insulators with crimped end-fittings, Part II - Suitable crimping conditions (2002) Compos Sci Technol 62 (9):1209-1221
- [2] Prenleloup A, Gmür T, Botsis J, Papailu KO (2005) Acoustic emission study and strength analysis of crimped steel-composite joints under traction. Composit Structures 74 (2006) 370-378
- [3] Fan Ju, Liang Xidong, Yin Yu, Wang Chengsheng, Chen Ling (2000) Application of acoustic emission technology on structure design and quality control of composite insulators. Proceedings of 6th ICPADM, pp358-361, June 2000
- [4] ASCO-P User Manual, ASCO-DAQ2 User Manual, www.vallen.de