

Kurzbericht

zu

Verbundforschungsauftrag

>>Signalbasiertes Clustering zur qualitätsorientierten Prozessüberwachung beim Ultraschallschweißen thermoplastischer Kunststoffprodukte (SC-QUPUS)<<

- durchgeführt im Auftrag des
Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg
mit Mitteln der Landesstiftung Baden-Württemberg –

Ziel des Vorhabens

Projektziel ist die Erarbeitung von Methoden und Systemtechniken, um die Prozessüberwachung von Ultraschallschweißprozessen qualitätsorientiert zu ermöglichen. Dabei sollen Qualitätsabweichungen im Prozess anhand von Sensor- und Prozessdaten erkannt werden. Neben verfügbaren Sensorsignalen der Schweißmaschine wie Schweißweg, Leistung und Druck werden zur Datenakquisition in der Nähe der Fügezonen weitere Sensoren, z. B. für Kraft, Temperatur und Körperschall, angebracht.

Sensortechnisch erfasste Prozessschwankungen werden über eine geeignete Signalverarbeitung codiert und den Prozessmodellen zugeführt. Diese Modelle sollen anfänglich anhand kleiner Versuchsumfänge aufgebaut werden und in der Lage sein, die erzielte Qualität für bekannte Prozesszustände den zu überwachenden Qualitätsklassen sicher zuzuordnen. Unbekannte Zustände, die sich aufgrund geänderter Prozessbedingungen oder Veränderungen in den Vorprozessen ergeben, sollen sicher erkannt werden und so eine zeitnahe Reaktion der Produktionsverantwortlichen ermöglichen.

Ein weiteres Projektziel ist die fundierte Prozessanalyse für verschiedene Nahtgeometrien und Werkstoffe anhand des Probekörpers. Diese Analyse umfasst Material- und Lagerungseinflüsse und dient dazu, die Prozesse besser beherrschbar zu machen und vorhandenes "Bauchgefühl" durch belegtes Faktenwissen zu ergänzen.

Durchführung des Projekts mit Beitrag der beteiligten Unternehmen

Für die Prozessanalyse und Identifikation qualitätsrelevanter Zusammenhänge wurden umfangreiche systematische Versuchsreihen – vorwiegend an der Hochschule Esslingen – anhand eines eigens entwickelten Probekörpers durchgeführt. Dabei kamen verschiedene Materialien (PA66-GF30, PS, ABS, PPA-GF35) sowie die Nahtgeometrien Energierichtungsgeber (ERG) und Quetschnaht zum Einsatz. Es wurden ferner die Lagerzeiten zwischen Spritzgießen und Schweißen sowie Schweißen und Prüfen gezielt variiert, um Einflüsse wie Feuchtigkeitsaufnahme und Relaxation bewerten zu können. Die Anforderungen, Randbedingungen, die gewünschte Funktionalität des Zielsystems sowie mögliche Versuchsteile aus der Praxis wurden im Rahmen von umfangreichen Vorortanalysen bei allen sechs Industriepartnern analysiert und bewertet. Auch die Materialien für die Versuchsreihen wurden von den Projektpartnern beigestellt.

Zur Durchführung der Versuche wurden den Instituten von einem Projektpartner Ultraschall-Schweißmaschinen zur Verfügung gestellt. Des Weiteren wurden die Maschinen

mit einer speziellen Schnittstelle ausgestattet, um relevante Maschinensignale wie Leistung, Schweißweg, Amplitude und Schweißkraft erfassen zu können. Zusätzlich wurden die Maschinen mit weiterer Messtechnik zur Erfassung der werkzeugwirksamen Schweißkraft, des hochaufgelösten Wegverlaufs sowie des Körperschalls ausgestattet. Ferner wurden zur Prozessanalyse auch eine leistungsfähige Thermografiekamera sowie für Reihenuntersuchungen drei IR-Punktsensoren zur Temperaturmessung in der Schweißnaht eingesetzt.

Um eine sichere Qualifizierung der Schweißnaht vornehmen zu können, wurde insbesondere die vorhandene Berstdruckprüfeinrichtung aufgrund gesammelter Erfahrungen mehrfach überarbeitet und optimiert. Nur so war es möglich, die Messwertstreuung zu minimieren und folglich die Festigkeitsstreuung dem Schweißprozess und nicht der Prüfmethode zuzuordnen. Auch im Spritzgießwerkzeug zur Herstellung der Probekörper waren mehrere Anpassungen und Änderungen notwendig, um insbesondere bei der Quetschnahtgeometrie prozesssichere Werkstücke herstellen zu können. Bei der Einrichtung der Prozesse – insbesondere beim Werkstoff PS – wurden die Institute umfangreich und kompetent von einem der Projektpartner unterstützt, der fast ausschließlich Produkte aus diesem Werkstoff fertigt und schweißt.

Um eine Prozessmodellierung zu ermöglichen, ist zuerst eine umfangreiche und zielgerichtete Signalvorverarbeitung notwendig. Die für Qualitätsschwankungen ursächlichen Prozessschwankungen müssen dabei identifiziert und mittels geeigneter Methoden effizient codiert werden. Dazu wurden aus den Signalen einerseits definierte Kenngrößen wie Schweißzeit, Ausschnittsintegrale oder Maxima ermittelt, andererseits Signalauschnitte in komprimierter Form als Ausgangsbasis verwendet. Zudem wurden Signaltransformationen – insbesondere die Fast-Fourier-Transformation (FFT) für Kraft- und Schwingungssignale – eingesetzt. Für die auf diese Weise generierten Kenngrößenvektoren zur Beschreibung der einzelnen Schweißzyklen wurden verschiedene Methoden zur Optimierung erarbeitet und untersucht. Ein sehr wichtiger Punkt ist eine geeignete Normierung. Diese ist sowohl für die Signalamplituden notwendig, um die Dominanz einzelner Kenngrößen einzig aufgrund des Wertebereichs zu vermeiden, als auch zur Kompensation der schwankenden Schweißzeiten, da die Modellierungsmethoden Vektoren mit über die Zyklen konstanter Dimension benötigen.

Um die Eignung eines Kenngrößenvektors hinsichtlich seiner Trennschärfe des Zielmerkmals beurteilen zu können, wurde eine Visualisierungsmethode erarbeitet. Diese bildet bestehende Signalcluster, deren Datenpunkte sich durch einen geringen Abstand untereinander auszeichnen, auch bei der Projektion als nahe beieinander liegende Punkte ab. Durch eine farbliche Codierung des Zielmerkmals kann die Separierbarkeit der Cluster schnell bewertet werden. Je weniger sich verschiedene Zielklassen durchmischen, desto besser können sie getrennt werden. Die Normierung bzw. Skalierung der einzelnen Kenngrößen hat auf die Clusterbildung einen signifikanten Einfluss. Zur Optimierung der Kenngrößenvektoren wurden verschiedene Verfahren wie eine auf statistischen Mittelwertvergleichen beruhenden Signifikanzanalyse und genetische Algorithmen näher untersucht. Für die Prozessmodellierung wurden insbesondere LVQ-Modelle eingesetzt. Durch eine Nächste-Nachbarschafts-Klassifikation zu einem der definierenden Codebookvektoren kann eine Qualitätsaussage abgeleitet werden, während der berechnete Abstand zum Codebook als Maß für die Bekanntheit gilt. Ab einem zu definierenden Schwellwert wird ein Zyklus als unbekannt markiert.

In der zweiten Projekthälfte wurden die entwickelten Methoden an Praxisbauteilen in den Produktionslinien der Projektpartner angewendet und erprobt. Insgesamt haben dabei fünf Projektpartner mit fünf unterschiedlichen Produkten intensiv mitgewirkt. Die

Produktionsmaschinen wurden dabei mit der Signalschnittstelle aufgerüstet, Versuche nach detaillierter Planung durchgeführt und die Teile durch die Partner geprüft und beurteilt. Die Zielsetzung richtete sich nach den Möglichkeiten der jeweiligen Produkte und reichte vom Erkennen von Schwankungen der Prozesse und Störungen des Spritzgießens bis zur Qualitätsüberwachung der einzelnen Werkstücke.

Erzielte Ergebnisse und mögliche Anwendungsfelder

Die Prozessanalysen und Versuchsreihen führten zu einem deutlich tieferen Prozessverständnis, das bei den Projektpartnern direkt in ihre Produktion einfließen kann. Dies zeigte sich auch in den regen Diskussionen aller Projektpartner bei den Meetings. Während die Prozesse bisher vorwiegend mittels „Bauchgefühl“ geführt wurden, sind die Zusammenhänge nun durch systematische Versuche bestätigt. Dies trifft insbesondere auf den Einfluss der Vorprozesse und Lagerzeiten zu. Für die verschiedenen Nahtgeometrien und Prüfmethoden wurden verschiedene Punkte identifiziert, auf die insbesondere in der Praxis zu achten ist. Auch wurden Schwachstellen und Verbesserungspotenziale im Maschinenkonzept aufgedeckt, die vom Maschinenhersteller, der auch Projektpartner war, in die weitere Maschinenentwicklung einfließen werden.

Für die erarbeiteten Methoden wurde der Nachweis erbracht, dass es damit prinzipiell möglich ist, die Teilequalität online zu überwachen und Störungen, wie z.B. geänderte Feuchtigkeit oder Materialschwankungen, zu erkennen. Dies bedingt jedoch, dass die Qualität bzw. der Zustand der Werkstücke exakt quantifiziert werden kann, was für Praxisbauteile oft nicht oder nur unzureichend der Fall ist. Dann kann jedoch allein die Streuungsanalyse mit den entwickelten Verarbeitungsmethoden sowie insbesondere deren Visualisierung sehr hilfreich sein. Die meisten Methoden sind als Prototyp in eine am IPA verfügbare Messwertverarbeitungssoftware integriert und können somit auch online am Prozess verwendet werden. Insgesamt konnten das Prozessverständnis und die Prozesssicherheit bei den Projektpartnern mit diesem Projekt deutlich gesteigert werden.

Anhand der exemplarisch durchgeführten Pilotanwendungen ist gezeigt, dass mit den erarbeiteten Methoden sowohl eine erweiterte Prozessüberwachung in Bezug auf die Teilequalität als auch (größere) Störungen im Prozess sowie aus den vorgelagerten Prozessen einzig anhand von Signalinformation aus dem Schweißprozess erkannt werden können. Durch eine Integration in die Maschinensteuerung durch den Maschinenhersteller können wesentliche Ergebnisse mittelfristig jedem Anwender dieser Schweißtechnologie zugänglich gemacht werden. Hauptinteressenten dürften jedoch Automotive- und Medizintechnik sein, da dort entsprechend hohe Sicherheits- und Dokumentationsanforderungen existieren. Da das erarbeitete Prozess-Knowhow auch in die tägliche Arbeit im Anwendungslabor des Maschinenherstellers einfließt, kommt es einem großen Anwenderkreis und damit einer weiten Marktverbreitung zugute.

Ansprechpartner

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
Dipl.-Ing. Joachim Neher, eMail: Joachim.Neher@ipa.fraunhofer.de
Tel: 0711 / 970 – 1816, Fax: 0711 / 970 – 1004