

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
1. Einleitung.....	1
2. Rissentstehung und Schallemissionsanalyse - Grundlagen und Stand der Technik	5
2.1. Entstehung von Rissen bei mechanischer Belastung	5
2.2. Risserkennung in industriellen Umformprozessen	7
2.3. Grundlagen und Stand der Technik der Schallemissionsanalyse.....	10
2.3.1. Quellen akustischer Emission	10
2.3.2. Analysemethoden und Anwendungen.....	11
2.3.3. Schallemissionsanalyse in Umformprozessen	12
2.4. Methoden zur Schallemissionsmessung.....	13
2.4.1. Interferometer	14
2.4.2. Piezoelektrische Aufnehmer	14
3. Ausbreitung elastischer Wellen in dünnwandigen Körpern.....	19
3.1. Theorie elastischer Wellen in dünnwandigen Körpern.....	19
3.1.1. Wellenausbreitung in unendlich ausgedehnten Platten.....	19
3.1.2. Wellenausbreitung in begrenzten Platten.....	24
3.1.3. Wellenausbreitung in dünnwandigen Zylindern	25
3.1.4. Wellenausbreitung in begrenzten dünnwandigen Zylindern.....	26
3.2. Experimentelle Untersuchungen der Wellenausbreitung.....	27
3.2.1. Experimentelle Simulation von Schallemissionsereignissen	29
3.2.2. Wellenausbreitung in einer unbelasteten Platte	30
3.2.3. Wellenausbreitung in einer ebenen Platte unter Belastung.....	36
3.2.4. Wellenausbreitung in einem Metallstreifen	41
3.2.5. Wellenausbreitung in einem dünnwandigen Zylinder	42

3.2.6.	Dämpfung elastischer Wellen	46
3.2.7.	Vergleich der Methoden zur Schwingungsmessung	49
3.2.8.	Zusammenfassung der experimentellen Ergebnisse	49
4.	Rissentstehung und Schallemission in Umformprozessen	51
4.1.	Beschreibung der Versuchsanordnungen	51
4.1.1.	Verformung schmaler Metallstreifen	51
4.1.2.	Verformung dünnwandiger Zylinder	52
4.2.	Ergebnisse der Biegeversuche	54
4.2.1.	Analyse der aufgenommenen Signale	54
4.2.2.	Ableitung eines Risserkennungsverfahrens für dynamische Verformungen	59
4.2.3.	Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Biegeversuchen	63
5.	Ein neues Verfahren zur Risserkennung in Umformprozessen	65
5.1.	Signalerfassung und Analyse	65
5.1.1.	Signalaufnahme und Datenerfassung	65
5.1.2.	Mustererkennung und Signalverarbeitung	72
5.2.	Einfluss von Störgeräuschen auf das Körperschallsignal	78
5.2.1.	Kontinuierliche Störungen	78
5.2.2.	Transiente Störungen	78
5.3.	Adaptive Störgeräuschunterdrückung	80
5.3.1.	Arten adaptiver Filter	82
5.3.2.	Adaptionsalgorithmen	83
5.4.	Implementierung des Verfahrens	83
6.	Das Verfahren in der Anwendung	85
6.1.	Der untersuchte Beispielprozess	85
6.2.	Anpassung des Risserkennungssystems an die Prozessbedingungen	86
6.2.1.	Bestimmung des risscharakteristischen Frequenzverlaufs	87
6.2.2.	Bestimmung der optimalen Aufnehmerpositionen	91
6.2.3.	Adaptive Störgeräuschunterdrückung	92

6.2.4.	Einfluss variabler Verformungsgeschwindigkeiten auf das Körperschallsignal	94
6.2.5.	Implementierung der Risserkennung in den Produktionsprozess	95
6.3.	Ergebnisse aus dem Beispielprozess	96
6.3.1.	Erkannte Risse	96
6.3.2.	Fehlinterpretationen durch das System	97
6.4.	Weitere Anwendungen innerhalb des Verformungsprozesses	98
6.4.1.	Überwachung von Werkstück-Verschmutzungsgrad und Oberflächenzustand	98
6.4.2.	Überwachung des Werkzeugzustands	100
7.	Zusammenfassung	103
8.	Literatur	105
	Verzeichnis der verwendeten Formelzeichen	111
	Anhang	113
A 1	Lösung der Wellendifferenzialgleichung in einer unendlich ausgedehnten Platte	113
A 2	Lösung der Wellendifferenzialgleichung in einem unendlich ausgedehnten Zylinder	118
A 3	Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Plattenwellen in dünnen Platten	125
A 4	LMS-Algorithmus des Adaptivfilters	126