

1	EINLEITUNG	1
	<i>Hans Kurt Tönshoff</i>	
2	DYNAMISCHES VERHALTEN NICHTLINEARER STRUKTUREN	5
2.1	Einleitung	5
	<i>Karl Popp</i>	
2.1.1	Modellbildung.	6
2.1.2	Möglichkeiten zum Erkennen und Beschreiben von Nichtlinearitäten	8
2.1.3	Nutzung nichtlinearer Effekte	10
2.2	Das nichtlineare Übertragungsverhalten von Strukturen mit lokalen Fügestellen	11
	<i>Karl Popp, Peter W. Blohm</i>	
2.2.1	Einleitung	11
2.2.2	Modellbildung für lokale Fügestellen	12
2.2.2.1	Die Reibung fester Körper	12
2.2.2.2	Das Fügestellenmodell	13
2.2.3	Beschreibung des dynamischen Übertragungsverhaltens mechanischer Strukturen.	15
2.2.3.1	Das Übertragungsverhalten nichtlinearer Systeme	16
2.2.3.1.1	Der Informationsgehalt von Frequenzgängen nichtlinearer Systeme	16
2.2.3.1.2	Linearisierung des Übertragungsverhaltens.	18
2.2.3.2	Kopplung linearer Teilstrukturen mit nichtlinearen Koppelementen	20
2.2.4	Die Hilbert-Transformation	23
2.2.4.1	Herleitung der Hilbert-Transformation in der komplexen Ebene	23
2.2.4.2	Anwendung der Hilbert-Transformation zum Erkennen von nichtlinearem Systemverhalten	27
2.2.4.3	Numerische Durchführung der Hilbert-Transformation	29
2.2.4.3.1	Integration des Frequenzgangs im Frequenzbereich $\omega_u \leq \omega \leq \omega_o$	31
2.2.4.3.2	Korrekturterme	32
2.2.4.3.3	Anpassung eines linearen Ersatzsystems zur Bestimmung modaler Größen	36

Inhalt

2.2.4.4	Beispiele zur Anwendung der Hilbert-Transformation	39
2.2.5	Zusammenfassung	43
2.3	Optimale Nutzung der Coulombschen Reibung in Fügestellen zur Dämpfung von Maschinenschwingungen	45
	<i>Karl Popp, Klemens Klant</i>	
2.3.1	Einleitung	45
2.3.2	Der Reibschwinger	49
2.3.2.1	Minimierung der Schwingamplitude	49
2.3.2.2	Optimierung der pro Periode dissipierten Energie	49
2.3.3	Das dynamische Verhalten von Balkensystemen mit Reibungsdämpfung	50
2.3.3.1	Näherungsverfahren zur dämpfungsoptimalen Auslegung	52
2.3.3.1.1	Optimierung der dissipierten Energie durch Variation des Pressungsverlaufs	54
2.3.3.1.2	Optimierung der dissipierten Energie unter Vorgabe eines Pressungsverlaufs	57
2.3.3.1.3	Die Grenzen der Optimierungsverfahren.	59
2.3.3.1.4	Allgemeines Vorgehen bei der Optimierung	60
2.3.4	Experimentelle Untersuchungen zur Ermittlung der optimalen Reibungsdämpfung	61
2.3.4.1	Der Versuchsstand	61
2.3.4.2	Experimentelle Untersuchungen am Dreibalkenschwinger	63
2.3.4.3	Experimentelle Untersuchungen an einem periodisch erregten Rahmen	67
2.3.4.4	Experimentelle Untersuchungen an einem impulsförmig angeregten Rahmen	69
2.3.5	Empfehlungen für den Anwender	70
2.3.6	Zusammenfassung	71
2.4	Nichtlinearitäten im Schwingungsverhalten von Werkzeugmaschinen	72
	<i>Hans Kurt Tönshoff, Detlef Ahlborn</i>	
2.4.1	Probleme der dynamischen Maschinenuntersuchung	72
2.4.2	Lineare Systembeschreibung mit nichtparametrischen Modellen.	73
2.4.3	Lineare, parametrische Strukturmodelle und deren Identifikation	76
2.4.4	Erkennen und Beschreiben der Nichtlinearität	81
2.4.5	Beschreiben von Nichtlinearitäten durch Isochronenfunktionen	81
2.4.6	Messen von Isochronenfunktionen an einer Spindellagerung	83
3	WIRKUNG UND MINDERUNG VON SCHWINGUNGEN BEI SPANENDER BEARBEITUNG	87
3.1	Einleitung	87
	<i>Hans Kurt Tönshoff</i>	
3.2	Einsatz von Piezoaktoren zur aktiven Dämpfung dynamischer Wechselwirkungen in Außenrundschleifmaschinen	88
	<i>Hans Kurt Tönshoff, Harald Gosebruch</i>	

3.3	Einfluß von Schwingungen auf das Arbeitsergebnis beim Spanen	105
	<i>Hans Kurt Tönshoff, Michael Foth</i>	
3.3.1	Einleitung	105
3.3.2	Das Modell des Schleifprozesses	107
3.3.3	In-Process-Welligkeitssensor	110
3.3.4	Experimentelle Überprüfung der Simulation	116
3.3.5	Regelung des Schleifprozesses	119
3.3.6	Zusammenfassung	122
4	GERÄUSCHMINDERUNG AN WEGGESTEUERTEN KOLBENMASCHINEN	125
4.1	Einleitung	125
	<i>Klaus Groth</i>	
4.1.1	Historie	125
4.1.2	Untersuchungsschwerpunkte der einzelnen Teilprojekte	126
4.1.2.1	Rootsgebläse und Schraubenverdichter	126
4.1.2.2	Hydrostatische Axialkolbenmaschine	127
4.1.2.3	Zweitaktmotor.	128
4.1.3	Zusammenarbeit mit anderen am Sonderforschungsbereich beteiligten Projekten	128
4.1.4	Aktuelle Bedeutung der Untersuchungsschwerpunkte.	130
4.2	Rootsgebläse und Schraubenverdichter	131
	<i>Klaus Groth, Axel Nickel</i>	
4.2.1	Aufgabe und Zielsetzung des Teilprojekts A 2	131
4.2.2	Rootsgebläse	131
4.2.2.1	Allgemeines und Aufbau.	131
4.2.2.2	Geräuscentstehung	132
4.2.2.3	Betriebsverhalten	133
4.2.2.3.1	Kammerdruckverlauf	133
4.2.2.3.2	Förderdruckpulsation	134
4.2.2.3.3	Liefergrad	134
4.2.2.4	Ein- und Auslaßfenstergrößenvariation	137
4.2.2.4.1	Praktische Ausführung	137
4.2.2.4.2	Förderdruckpulsation	137
4.2.2.4.3	Schallintensität-Maschine	138
4.2.2.4.4	Liefergrad	139
4.2.2.5	Zusammenfassung Rootsverdichter	141
4.2.3	Schraubenverdichter	141
4.2.3.1	Allgemeines und Aufbau.	141
4.2.3.2	Geräuscentstehung	143
4.2.3.3	Betriebsverhalten	143
4.2.3.3.1	Drehmoment	143
4.2.3.3.2	Kammerdrücke	145
4.2.3.3.3	Schallgrößen im Förderrohr.	146
4.2.3.3.4	Wirkungsgrad	148

Inhalt

4.2.3.4	Auslaßvariation	149
4.2.3.4.1	Praktische Ausführung	149
4.2.3.4.2	Auswirkungen auf die Kammerdrücke	150
4.2.3.4.3	Auswirkungen auf die Schallemission und den Wirkungsgrad.	152
4.2.3.5	Zusammenfassung Schraubenverdichter	154
4.3	Hydrostatische Axialkolbenmaschinen	154
	<i>Klaus Groth, Thomas Grahl</i>	
4.3.1	Aufgabe und Zielsetzung des Teilprojekts A 4	154
4.3.2	Geräuschverhalten von Axialkolbenpumpen	155
4.3.3	Modifikation des Umsteuersystems zur Geräuschminderung	161
4.3.3.1	Allgemeines	161
4.3.3.2	Steuerkerben	161
4.3.3.3	Einfluß der wasserhaltigen Druckflüssigkeiten auf die Umsteuerung	163
4.3.3.4	Variation der Steuerzeiten	164
4.3.3.4.1	Untersuchung des Überdeckungswinkels	164
4.3.3.4.2	Untersuchung der Spiegelverdrillung	167
4.3.3.5	Vergleich der Minderungsmaßnahmen	169
4.3.3.6	Variable Umsteuerung.	170
4.3.4	Zusammenfassung	172
4.4	Zweitaktmotoren.	173
	<i>Klaus Groth, Frank Meyer</i>	
4.4.1	Einleitung	173
4.4.2	Geräuschenstehungs- und Ausbreitungsmechanismen	175
4.4.3	Zur Minderung der luftschallerregten Geräusche	179
4.4.4	Zur Minderung der körperschallerregten Geräusche	183
4.4.4.1	Zur Minderung des Verbrennungsgeräusches	183
4.4.4.2	Zur Minderung des mechanischen Geräusches	185
4.4.5	Ein akustisches Ersatzmodell zum Zweitakt-Kettensägenmotor	196
4.4.6	Zusammenfassung	197
5	SONDERANWENDUNGEN DER SCHALLINTENSITÄTSMESSTECHNIK	199
5.1	Einführung in die Schallintensitätsmeßtechnik	199
	<i>Walter Ecker, Hans Kutter-Schrader</i>	
5.1.1	Hauptaufgaben der maschinenakustischen Meßtechnik	199
5.1.1.1	Lokalisierung von Schallemissionen	199
5.1.1.2	Bestimmung von Schalleistungen	200
5.1.2	Grundlagen der Schallintensitätsmeßtechnik (Druckgradientenverfahren)	202
5.1.2.1	Direkte Methode	202
5.1.2.2	Indirekte Methode	204
5.1.2.3	Verfahrensbedingter Intensitätsfehler (Näherungsfehler).	205
5.1.2.4	Apparativ bedingter Intensitätsfehler (elektrische Phasendifferenzen)	206

Inhalt

5.1.3	Methodische Hinweise für die meßtechnische Praxis	207
5.1.3.1	Methode zur Lokalisierung starker Teilschallstrahler	207
5.1.3.2	Ermittlung von Teilschalleistungen	210
5.1.4	Berührungslose akustische Erfassung von Oberflächenschnellen.	211
5.2	Intensiometrische Analyse und Beeinflussung von Geräusch- und Schwingungsvorgängen an Umformmaschinen	213
5.2.1	Grundsätzliche Betrachtungen zum Einsatz der Intensiometrie für die akustische Analyse transient emittierender Schallquellen <i>Walter Ecker, Hans Kutter-Schrader</i>	213
5.2.1.1	Information im Intensitätszeitsignal	214
5.2.1.2	Meßbeispiele mit Hinweisen zur Auswertung und Weiterverarbeitung	218
5.2.1.3	Zusammenfassung und Ausblick	223
5.2.2	Akustische Analyse eines Schabottehammers <i>Eckart Doege, Berthold Vogelsang</i>	224
5.2.2.1	Einführung	224
5.2.2.2	Untersuchungsobjekte.	225
5.2.2.3	Geräuschursachen und -entstehungsmechanismen	227
5.2.2.4	Meßaufbau und -durchführung	229
5.2.2.5	Gesamt- und Teilschallenergiebestimmung	232
5.2.2.6	Strukturanalyse	238
5.2.2.7	Zusammenfassung und Ausblick	242
5.2.3	Akustische Anschlagsteuerung zur Geräuschverminderung von Schneidpressen <i>Eckart Doege, Jürgen Neubert</i>	243
5.2.3.1	Geräusch- und Schwingungsentstehung beim Scherschneiden	243
5.2.3.1.1	Anschlagschneiden zur Schnittschlagminderung.	244
5.2.3.1.2	Voraussetzungen für den praktischen Einsatz	246
5.2.3.2	Konzeption einer Steuerung für Anschlag- und Eintauchtiefeneinstellung	247
5.2.3.3	Einsatz der Intensitätsmeßtechnik zur Beurteilung der AnschlagEinstellung	248
5.2.3.3.1	Erprobung der Schallintensitätsmeßtechnik.	249
5.2.3.3.2	Versuchsergebnisse.	251
5.2.3.4	Realisierung der Steuerung.	253
5.2.3.4.1	Software	253
5.2.3.4.2	Hardware	254
5.2.3.4.3	Erprobung der Steuerung	255
5.2.3.5	Weiterentwicklung des Anschlagschneidens	257
5.3	Objektive Geräuschprüfung von Serienprodukten mit rotierenden Teilen <i>Walter Ecker, Hans Kutter-Schrader</i>	258
5.3.1	Forderungen an eine berührungslose akustische Qualitätsprüfung	259

Inhalt

5.3.2	Grundsätzliche Betrachtungen zur Eignung der Meßgröße „Schallintensität“ für die objektive Geräuschprüfung	259
5.3.2.1	Die Schallintensität als Korrelationsergebnis	260
5.3.2.2	Richtungsempfindlichkeit der Schallintensitätssonde	261
5.3.2.3	Die akustische Blindleistungsdichte.	263
5.3.3	Apparativ gestützte objektive Geräuschprüfung	266
5.3.4	Abschließende Bemerkungen	268
6	LASERINTERFEROMETRISCHE SCHWINGUNGSMESSTECHNIK .	269
	<i>Fromund Hock, Ludger Middelberg</i>	
6.1	Einleitung	269
6.2	Interferenzsignalbildung und Auswertung der Signalphase als primärer Meßinformation.	270
6.2.1	Signalbildung beim Laser-Doppler-Referenzverfahren.	270
6.2.2	Signalbildung beim Laser-Doppler-Differenzverfahren	273
6.2.3	Die Drehzeigersignalverarbeitung	275
6.3	Anwendung des Laser-Doppler-Referenzverfahrens	279
6.3.1	Beschreibung des realisierten Laservibrometers	279
6.3.2	Messung von Grenzykelbewegungen an einem Reibschwinger.	283
6.4	Anwendung des Laser-Doppler-Differenzverfahrens	284
6.4.1	Beschreibung eines Laser-Doppler-Interferometers	284
6.4.2	Laser-Doppler-Anemometrie	287
6.4.2.1	Beschreibung des realisierten Laser-Doppler-Anemometers.	287
6.4.2.2	Auswahlkriterien der Streupartikel	292
6.4.2.3	Geschwindigkeitsmessungen am Schraubenverdichter	294
6.4.3	Laterales Vibrometer nach dem Laser-Doppler-Differenzverfahren	300
7	Literatur	305
8	Dokumentarischer Anhang	319