

# **Robotertechnik zur diffraktometrischen Charakterisierung von Restspannungs-, Textur-, Phasenentwicklung an technischen Komponenten**

*H.-G. Brokmeier, N. Al-hamdany*

*Institut für Werkstoffkunde und –technik TEXMAT /Technische Universität Clausthal*

*heinz-guenter.brokmeier@tu-clausthal.de,nowfal.alhamdany@tu-clausthal.de*

*C. Randau*

*Geoscience Centre, Georg-August University Göttingen*

*christian.randau@frm2.tum.de*

*W.M. Gan, A. Schreyer*

*Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG)*

*weimin.gan@hzg.de, andreas.schreyer@hzg.de*

*M. Hofmann, M. Völler*

*FRM II, Technische Universität München (TUM)*

*michael.hofmann@frm2.tum.de*

## **Abstract**

Am Materialforschungsdiffraktometer STRESS-SPEC der Forschungs-Neutronenquelle Heinz Maier-Leibnitz (FRM II) wurde vor einiger Zeit ein BMBF gefördertes Robotersystem in Betrieb genommen. Damit wurde es erstmals möglich kompakte Proben von technischen Dimensionen bezüglich kristallographischer Textur, Restspannungen und Phasenzusammensetzungen automatisch zu charakterisieren. Der Roboter verfügt über drei Funktionen, die den Messablauf entscheidend vereinfachen und für Neutronenmessungen sehr wichtig teure Messzeit einsparen. Texturmessungen sind häufig Serienuntersuchungen zur Texturentwicklung als Funktion von Umformgrad, Umformtemperatur und Legierungszusammensetzung, so dass der Roboter als automatischer Probenwechsler erhebliche Zeitersparnis bringt. Zweitens fungiert der Roboter nicht nur als Probenwechsler, sondern ersetzt gleichzeitig auch die Eulerwiege zum Abfahren der einzelnen Polfiguren. Die dritte Funktion ist die Scanfunktion des Roboters, um zum Beispiel die Informationen über den Umfang von Rohren oder über Schweißnähten automatisch Messen zu können.

## 1 Einleitung

Aufgrund der besonderen Eigenschaften von Neutronenstrahlen in der Wechselwirkung mit kondensierter Materie, die im Detail von Dachs [1] und Bacon [2] beschrieben worden sind, eignen sich Neutronenexperimente sehr gut für Texturuntersuchungen industrierelevanter Proben [3]. Für die Untersuchungen wird in der Regel ein konventioneller Aufbau, wie auch bei Labor-Röntgenanlagen üblich, mittels Eulerwiege genutzt. Eine detaillierte Beschreibung des Materialforschungsdiffraktometers STRESS-SPEC ist von Brokmeier et al. [4] unter dem Schwerpunkt Texturanalytik angefertigt worden. Die Eulerwiege ist notwendig, um für jeden Beugungsreflex ( $hkl$ ) eine genügende Anzahl von Stützpunkten ( $P_{hkl}$ ) auf der Polarkugel (Abb. 1a) messen zu können, wie zum Beispiel am Materialforschungsdiffraktometer STRESS-SPEC der Forschungsneutronenquelle Heinz Mayer-Leibnitz FRM2 in Garching. Für das Abtasten der Informationen auf der Polarkugel muss die Probe, die sich gedanklich im Zentrum der Polarkugel befindet gedreht und gekippt werden. Die Summe aller Messpunkte eines Beugungsreflexes wird mathematisch zu einer Intensitätsverteilung (Höhenliniendarstellung) auf der Polarkugel verarbeitet. In Abb. 1b ist das Beispiel einer 80% kalt gewalzten Fe2.6%Si Probe dargestellt.

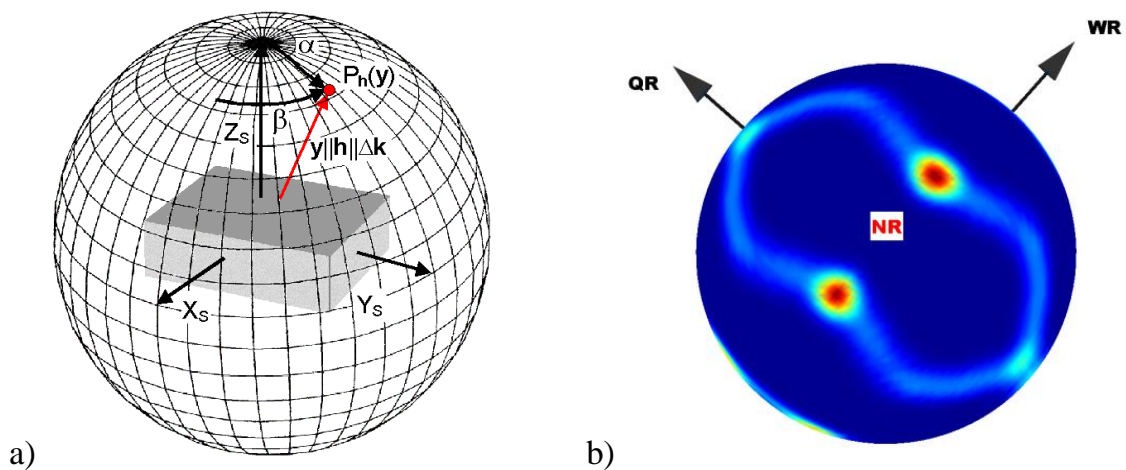


Abb. 1: a) Messraster auf der Polkugel, b) Polkugel mit Intensitätsverteilung

Die Motivation für die Entwicklung eines Robotersystems zur diffraktometrischen Untersuchung basiert auf Einschränkungen bei der zerstörungsfreien Untersuchung kompakter Proben, die nicht mehr in der Eulerwiege bewegt werden können. Derartige Projekte wurden in den 90er Jahren verstärkt nachgefragt. In Abb. 2 ist der Vergleich zwischen einer kleinen Standardprobe von 1.4cm Kantenlänge und einem Stahl aus dem Transportsystem eines Skiliftes von 1m Länge. Abb. 2 a zeigt das Platzproblem innerhalb der Eulerwiege. Die Probe kann nur starr eingebaut werden, so dass nur ein

kleiner Bereich der Probe analysiert werden kann. Eine x-, y-, z- Translation die notwendig wäre kann aus Platzgründen nicht realisiert werden.

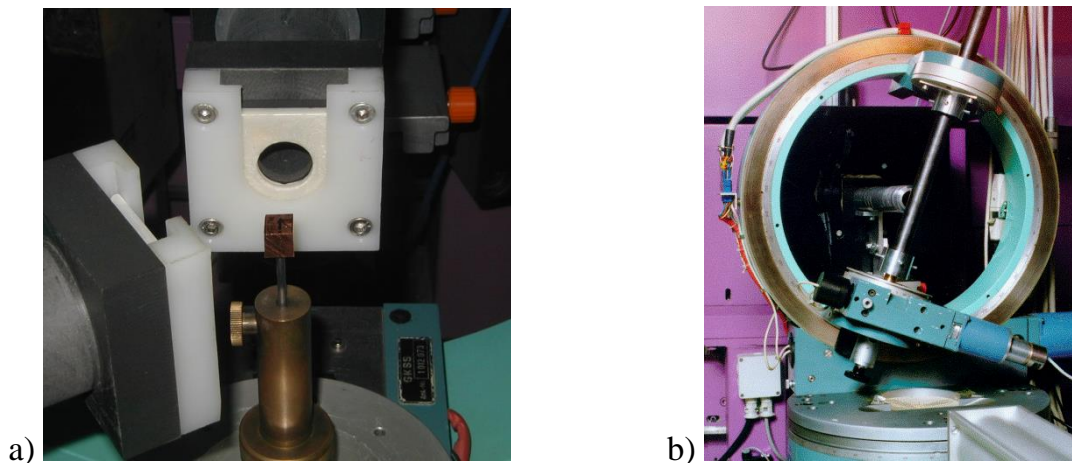


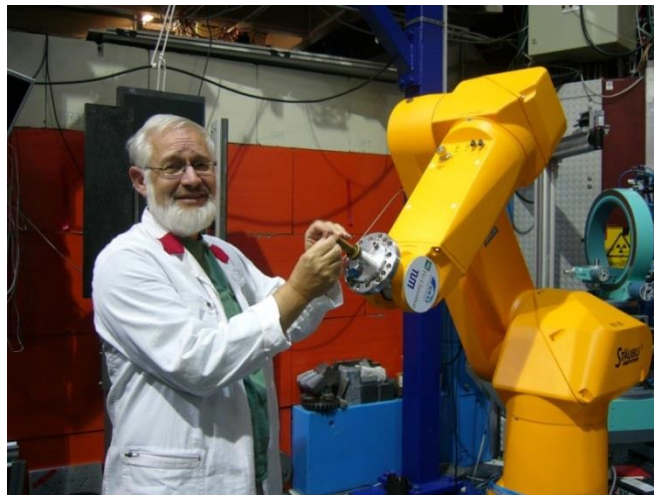
Abb. 2: a) Lichtmikroskopische Abbildung, b) Rasterelektronenmikroskopische Darstellung

Um diese Probleme lösen zu können, muss entweder die Probe zerstört werden, oder der freie Drehbereich der Eulerwiege vergrößert und eine zusätzliche x-, y-, z- Translation installiert werden.

Ein Knickarmroboter, wie er im industriellen Bereich vielfach im Einsatz ist, kann helfen diese Probleme zu lösen. Zusätzlich zu dem generellen Platzvorteil bietet das Robotersystem zahlreiche weitere Vorteile, die im Weiteren erklärt werden. Die Robotertechnik, wie sie seit 2007 an STRESS-SPEC entwickelt worden ist und inzwischen im Routinebetrieb genutzt wird, ist weltweit noch im Anfangsstadium. Basierend auf Erfahrungen mit Probenwechslern in der Pulverdiffraktometrie wurde in den 90er Jahren ein Roboter einfachen Typs als Probenwechsler mit einem Röntgendiffraktometer gekoppelt [5]. Der Roboter hatte die Aufgabe Proben mit einer Standardgröße aus einem Magazin zu entnehmen, in den Probenhalter im Zentrum der Eulerwiege einzuschieben und auf eine Ausgangsposition zurückzufahren, damit eine Standardtexturmessung gestartet werden konnte. Aufgrund der Probengröße waren die Anforderungen an Positioniergenauigkeit nicht sehr hoch, lediglich die Probenoberfläche musste präzise sein. Für Spannungsmessungen von Bauteilen wurde ein System aus zwei Robotern entwickelt [6]. Ein Roboter trägt die Röntgenquelle und der andere trägt den Röntgendetektor. Dadurch sind die Reflexbedingungen der Probengröße variabel anzupassen. Erste Tests für den Robotereinsatz in der Neutronendiffraktometrie wurden von Altenkirch et al. [7] am Institut Laue Langevin (ILL) in Grenoble durchgeführt, kam aber nicht in die Anwendung.

## 1 Das Robotersystem

Eines der Hauptprobleme bei dem Einsatz eines Robotersystems in der Diffraktometrie ist die Genauigkeit. Deshalb besteht das Robotersystem aus einem Knickarmroboter, einer Optik zur Kontrolle der korrekten Probenposition und einem Laser-Scanning-System zur Vermessung der Probe. Das an STRESS-SPEC eingesetzte System wurde von Randau et al. [8] beschrieben. Von den zwei verfügbaren Robotern ist die kleinere Variante ein Stäubli RX160 Knickarmroboter im Einsatz. Die Spezifikationen sind eine Wiederholgenauigkeit von  $\pm 0,05$  mm, eine maximale Tragkraft von 30kg und Standardbeweglichkeit mit 6er Koordinierung. Um schwingungsfrei und relativ schnell positionieren zu können steht der Roboter auf einer massiven Grundplatte, so dass der Roboter inklusive Grundplatte und kleineren Aufbauten auf der Grundplatte ca. 2t wiegt. *Abb. 3* zeigt, wie eine Standardtexturprobe am Roboterarm angebracht wird. Zum Größenvergleich ist im Hintergrund die Huber Eulerwiege Typ 512 zu sehen.



*Abb. 3: Einlegen der Probe in den Stäubli RX160 Knickarmroboter*

## 2 Einsatzgebiete des Roboters

### 2.1 Der Roboter als Probenwechsler

Wie schon der Einsatz des Roboter-Probenwechslers an der Röntgenanlage gezeigt hat, können erhebliche Zeitersparnisse bei den zeitaufwendigen Texturmessungen erzielt werden. Dies trifft insbesondere bei Neutronen- und Synchrotronmessungen zu, da bei beiden Techniken der Zugang zum Instrument besonderen Regelungen unterliegt, um einen sicheren Betrieb zu gewährleisten. Für STRESS-SPEC wurden Zeitersparnisse von bis zu 30% erzielt. Je kürzer die Messzeit pro Probe desto effektiver ist der Einsatz des Roboters, da der Probenwechsel zeitaufwendig ist. Standardtexturpro-

jekte erfordern in der Regel Serienmessungen, zum Beispiel die Texturabhängigkeit von den Prozessparametern bei der Herstellung, dazu gehören Verformungsgrad, Verformungstemperatur, Glühtemperatur, Glühzeit, Legierungszusammensetzung und vieles mehr. In Tab. 1 sind einige Beispiele von STRESS-SPEC Experimenten mit dem Roboterprobenwechsler zusammengefasst. In Abb. 4 ist der Roboter mit dem Magazin für die Probenaufnahme dargestellt. Es können bis zu 12 Proben aufgenommen werden.

*Tab. 1: Verfahrensparameter*

<i>Projekt</i>	<i>Material</i>	<i>Proben</i>	<i>Grund</i>
<i>Jayaganthan/Brokmeier</i>	<i>Al6061/Al5083</i> <i>Cryo+Warmwalzen</i>	<i>36</i>	<i>Variation der</i> <i>Walzbedingungen</i>
<i>Brokmeier/Salih</i>	<i>Fe-3%Si</i>	<i>16</i>	<i>Walzgrad und</i> <i>Glühbedingung</i>
<i>Kermanshahi/Al-hamdany</i> <i>Wagner/Brokmeier</i>	<i>Kupfer</i>	<i>18</i>	<i>Variation der Pro-</i> <i>zessparameter</i>
<i>Walter/Randau/Leiss</i>	<i>Natürliches Steinsalz</i>	<i>36</i>	<i>Kornstatistik</i>

## 2.2 *Der Roboter als Probenmanipulator*

Neben der Funktion als Probenwechsler dient der Roboter an STRESS-SPEC gleichzeitig auch als Probenmanipulator. Das Abtasten der Polfigur, wie in *Abb. 1* gezeigt, geschieht voll automatisch. Bei Verwendung der Probenwechslerfunktion können nur einheitliche Probengrößen untersucht werden, da die Strahlführung separat eingestellt werden muss. Bei manuellem Probenwechsel können die Proben unterschiedliche Abmessungen haben. Das Blendensystem wird jeweils auf die Probengröße angepasst, um ein optimales Reflex zu Untergrundverhältnis zu haben. Der Roboter übernimmt die Funktion der Eulerwiege. Die Probe wird in Stufen mit definierten Poldistanzwinkeln gekippt, um alle Bereiche der Polfigur erfassen zu können. Nach jedem Kipp-schritt wird bei konstanter Poldistanz um 360° gedreht und die Information alle 5° abgespeichert. Mathematisch wird daraus die Texturinformation extrahiert und nach der von Bunge [9] entwickelten Reihenentwicklungsmethode ausgewertet. Der Vorteil des Roboters liegt in seiner größeren Flexibilität gegenüber Standardeulerwiegen, erstens



bei den Freiheitsgraden in der Probenbewegung und zweitens ganz wesentlich in der untersuchbaren Probengröße.



Abb. 4: 12fach Magazin bestückt mit 8 Proben

### 2.3 Der Roboter als Probenpositioniereinheit

Ein ganz wesentlicher Vorteil ist die Option den Roboter kombiniert als Probenpositioniereinheit und Probenmanipulator einsetzen zu können. Dadurch werden Untersuchungen von Spannungsprofilen, Textur- und Phasengradienten in komplexen Proben möglich. Durch das 6-achsige System des Roboters können sowohl Probenpositionen im Raum vergleichbar zur x-,y-, und z-Bewegung von Lineartischen als auch diffraktometrische Messungen als Funktion der Beugungswinkel  $\omega$ ,  $\varphi$  und  $\chi$  durchgeführt werden. Es wurden Spannungs- und Texturprofile über die Wanddicke von Rohren und über Schweißnähte vermessen. In Abbildung 5 sind diese beiden Beispiele dargestellt. Zerstörungsfreie Textur- und Spannungsanalysen an einer 12 kg Probe sind nur mit Roboter möglich

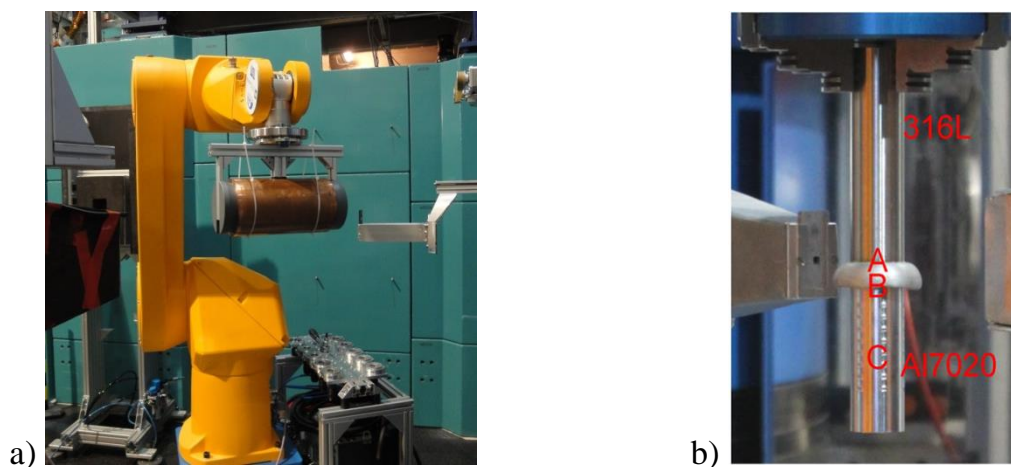


Abb. 5: a) 12kg Cu - Rohrsegment b) Rotationsreibschweißen von Al7020 mit Stahl 316L

### **3 Zusammenfassung**

Der Roboter Stäubli RX160 hat sich im Betrieb an dem Materialforschungsdiffraktometer STRESS-SPEC bewährt und wird routinemäßig für Texturmessungen eingesetzt. Die Kombination von Texturanalysen mit Restspannungs- und Phasenanalysen ist möglich, benötigt aber weitere Verbesserungen bezüglich der Positioniergenauigkeit. Es konnte gezeigt werden, dass komplexe Proben zerstörungsfrei bezüglich Restspannungen, kristallographischen Texturen und Phasenzusammensetzung mit Hilfe des Roboters untersucht werden können.

### **Danksagung**

Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unter der Projektnummer 05KN7MCA gefördert. Die Autoren danken den beteiligten Institutionen dem Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG) und der Technischen Universität München (TUM) für die Unterstützung bei der Umsetzung des Projektes, sowie Dr. U. Garbe und Dr. T. Hornfleck für die Unterstützung bei der Vorbereitung dieses Projektes.

### **Literatur**

- [1] Dachs, H.: Neutron Diffraction, Springer Verlag Berlin, 1978
- [2] Bacon, G.E.: Neutron Diffraction, Clarendon Press, Oxford 1975.
- [3] Brokmeier, H.-G.: Neutron diffraction texture analysis for industrial applications, Z. Metallkunde 85 (1994), S. 598-602.
- [4] Brokmeier, H.-G., Gan, W.M., Randau, C., Rebelo-Kornmeier, J., Hofmann, M.: Texture analysis at neutron diffractometer STRESS-SPEC, Nucl. Instruments Methods in Phys. A 642 (2011), S. 87-92.
- [5] Großterlinden, R., Lotter, U., Thoma, C.: Automatic measuring system for textures with sample change by means of a robot arm, Steel Research 62 (1991), S. 587-590.
- [6] Hessert, R., Satzger, W., Haase, A., Schafmeister, A.: Cooperating twin robots form a new X-ray diffractometer for stress analysis, Int. J. Mat. Res., 97 (2006), S. 1410–1414.

- [7] Altenkirch, J., Steuwer, A., Withers, P.J., Buslaps, T., Berger, U.: Robotic sample manipulation for stress and texture determination on neutron and synchrotron X-ray diffractometers, Nucl. Instruments Methods Phys. A 584 (2008), S. 428–435.
- [8] Randau, C., Brokmeier, H.-G., Gan, W. M., Hofmann, M., Voeller, M., Tekouo, W., Al-hamdany, N., Seidl, G., Schreyer, A.: Improved sample manipulation at STRESS-SPEC neutron diffractometer using a robot for texture and strain analyses. Nucl. Instruments Methods Phys. A (2015) under review
- [9] Bunge, H.J., Mathematische Methoden der Texturanalyse, Akademie Verlag Berlin, 1969.
- [10] Al-hamdany, N., Brokmeier, H.-G., Randau, C., Gan, W.M., Völler, M.: Texture gradient studies of a Cu-tube by the robot at STRESS-SPEC, Cryst. Res. Technol., 49, (2014), S. 888-898.
- [11] Randau, C.: Entwicklungen am Neutronendiffraktometer STRESS-SPEC für schnelle und lokale Polfigurmessungen zur Bestimmung orts aufgelöster Texturen. Dissertation, TU Clausthal, 2012.

### **Autorenanschriften**

Prof. Dr. rer. nat. Heinz-Günter Brokmeier

Technische Universität Clausthal

Institut für Werkstoffkunde und Werkstofftechnik, Abteilung TEXMAT

Agricolastraße 6

38678 Clausthal-Zellerfeld

Telefon: 05323-722867

Telefax: 05323-72992867

E-Mail: heinz-guenter.brokmeier@tu-clausthal.de