

řádání „ , „ , „ a s paralelním svazkem. V provozních podmínkách mají největší perspektivu mobilní aparatura s polohově citlivými detektory.

Fyzikální postup měřícího postupu spočívá ve stanovení vzdálenosti určitého systému mřížkových rovin $\{hkl\}$ v různých a různě orientovaných krystalech. Čím je počet reflektujících krystalků větší, tím bude získaná informace reprezentativnější a spolehlivější. Při detekci difraktovaného záření na film dostaneme v takovém případě spojité Debyeovy-Scherrerovy linie. Pokud se linie „rozpadají“ na diskrétní difrakční stopy, je možno počít vhodně orientovaných krystalků zvýšit takovým pohybem zkoumaného vzorku, při němž geometrické podmínky použité metody zůstanou nenarušeny.

Jedna z prakticky významných zvláštností rentgenové tenzometrie spočívá v tom, že povrch zkoumaného materiálu není třeba před vlastním měřením speciálně upravovat. Běžná drsnost, s níž se obvykle po opracování nebo tváření setkáváme, není na závadu. Vždy je však třeba uvážit, jaké důsledky má pro řešení dané úlohy nepatrná hloubka vnikání používaných rentgenových paprsků.

Rentgenografické elastické konstanty

Elastická anizotropie, projevující se v různých krystalografických směrech různými elastickými vlastnostmi, bude naměřené výsledky bezpochyby určitým způsobem ovlivňovat. U mechanických měření deformace, kde se jedná zpravidla o objemy s velkým počtem náhodně orienta-

ných krystalků, je efekt anizotropie „zprůměrovan“ a chování objektu lze považovat za kvaziizotropní, dostatečně dobře popsatelné Youngovým modulem E a Poissonovým číslem n lineární teorie elasticity izotropních látek. Při rentgenografickém měření zbytkových napětí je elastická anizotropie respektována pomocí tzv. rentgenografických elastických konstant.

Jejich hodnoty lze buď vypočítat teoreticky, nebo určit experimentálně na základě měření mřížkových deformací ve vzorcích vystavených známému jednoosému namáhání.

Závěr

Rentgenografická technika měření napětí představuje v současné době jednu z nejvýznamnějších metod analýzy vložných i zbytkových stavů makroskopické napjatosti. Uplatňuje se jak v oblasti základního materiálového výzkumu tak při řešení širokého spektra konkrétních technologických problémů v nejrůznějších odvětvích průmyslové výroby. Zkušenosti ze zemí s vyspělou strojírenskou technologií svědčí o tom, že poznatky o zbytkových napětích jsou efektivně využívány především tam, kde se podařilo trvale odstranit nedůvěru rozdělující pracovníky výzkumu a výroby a kde má tok informací mezi těmito oblastmi obousměrný charakter. Rozhodující pro další perspektivu rentgenové tenzometrie je informovanost o možnostech této experimentální techniky, neomezující se pouze na výčet předností, ale i na kvalifikované posouzení hranic použitelnosti.

SMALL ANGLE NEUTRON SCATTERING IN MATERIALS SCIENCE

Pavel Strunz

Nuclear Physics Institute, 25068 Řež near Prague, Czech Republic

Keywords:

SANS - small angle neutron scattering, materials science

Abstract

The importance of small-angle neutron scattering for materials science and its specific features are briefly discussed. A few examples of applications are shown - study of superalloys, determination of volume fraction of voids for superplastic materials, study of porosity in plasma-sprayed coatings.

1. SANS characteristics

Specific properties of small-angle neutron scattering (SANS) method with respect to small-angle scattering of X-ray and synchrotron radiation (SAXS) are presented. The neutron sources are of much lower luminosity than synchrotron ones and even substantially lower than standard X-ray sources. On the other hand, higher penetrability of neutrons through majority of materials facilitates their use as a probe for bulk material and for in-situ studies at extreme conditions (low/high temperatures, mechanical loading, pressure).

As scattering amplitude of neutrons does not depend in a systematic way on the atomic number and can differ even for isotopes, light elements can provide a significant scattering contrast and contrast variation technique can be rela-

tively easily employed, too. Moreover, their magnetic moment enables to investigate magnetic nanostructures. A usually easier preparation of SANS samples should be mentioned as well: in certain cases we can talk even about non-destructive testing.

Generally, SANS is particularly useful for microstructural investigations where X-ray cannot deliver needed information either for lack of scattering contrast or due to strong absorption (in the sample or in the sample-environment windows).

Complementary arrangements of SAS experiment known for X-ray (pin-hole, double-crystal) are used for neutrons as well (an example pin hole SANS facility can be found in [1]). Nevertheless, the low absorption of neutrons allows the use of neutron-diffraction optics to improve the performance of double-crystal SAS setting. In Fig. 1, such device equipped with analyzer (bent perfect Si crystal) in fully asymmetric geometry is displayed [2].

2. Typical SANS investigation of solid materials

To develop materials with physical properties suited to a particular application and to optimize the technology of their processing, it is essential to know the physical mechanisms taking place in the material under different external conditions. Particularly, the presence of microscopic pores or precipitates is a characteristic feature of many types of

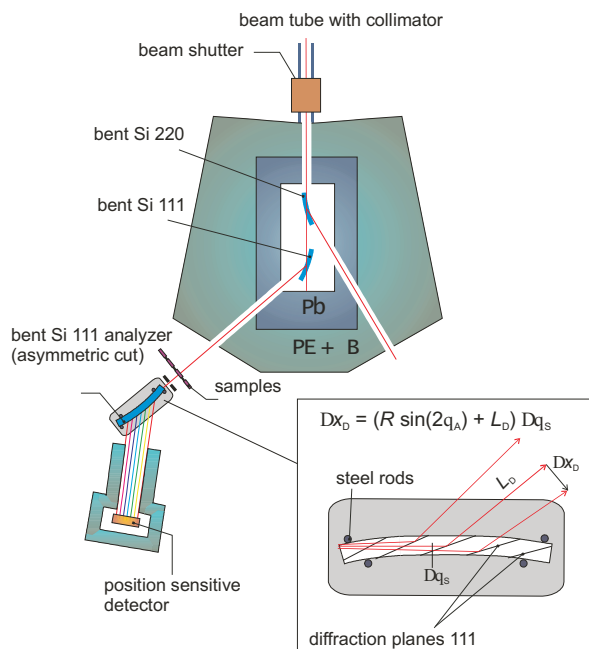


Fig. 1. Double-crystal SANS diffractometer DN-2 in NPI Řež (Q -range 2×10^{-4} – $2 \times 10^{-2} \text{ \AA}^{-1}$; see [2] for more details).

solid materials. Here, a broad field of applications exists for SANS. Some typical examples will be presented in the talk.

Selected SANS studies performed on V4 pin-hole facility in HMI Berlin using various sample environments will be reported. Examples taken from the research of Ni-base superalloys (technologically important materials for high-temperature applications) are focused on the in-situ solutionizing of gamma prime precipitates [3], presence of TCP phase, rafting [4] and influence of heat-treatment conditions on the precipitate morphology [5]. The 2D map in Fig. 2 shows typical example of SANS pattern coming from dense system of gamma prime precipitates in sin-

gle-crystal Ni-base superalloy. Size, distance, misorientation of precipitates and their volume fraction can be determined through a model fitting to such pattern.

Study of porosity in plasma-sprayed ZrO_2 thermal-barrier coatings is shown as well. The use of these materials on Ni-base superalloy blades enables appreciable increase of the temperature in the turbine combustion chamber. Evolution of their pore microstructure (strongly determining the physical properties of the material) during high-temperature exposition is discussed.

Superplasticity of ceramics is an interesting phenomenon with promising practical applications. The Y-TZP ceramics can be made into a product having a required shape and size by means of plastic workings. Double-crystal SANS was used to determine volume fraction of voids in dependence on the superplastic strain [6]. The evaluation of 2D pin-hole SANS patterns provide information on anisotropy of pore morphology as well as on coexistence of two different populations of pores at high strain rates.

1. <http://www.hmi.de/bensc/instrumentaion/instrumente/v4/v4.html>.
2. <Http://omega.ujf.cas.cz/CFANR/k13.html>
3. P. Strunz, D. Mukherji, R. Gilles, A. Wiedenmann, J. Rösler And H. Fuess: *J. Appl. Cryst.* **34**, (2001), 541-548.
4. P. Strunz, G. Schumacher, W. Chen, D. Mukherji, R. Gilles and A. Wiedenmann: *Applied Physics A* (ICNS 2001 Proceedings), accepted.
5. R. Gilles, D. Mukherji, P. Strunz, S. Lieske, A. Wiedenmann, R.P. Wahi: *Scripta Materialia* **39**, 715-721 (1998).
6. S. Harjo, N. Kojima, Y. Motohashi, J. Šaroun and V. Ryukhtin: submitted to the Annual meeting of Japan Institute of Metals (2002).

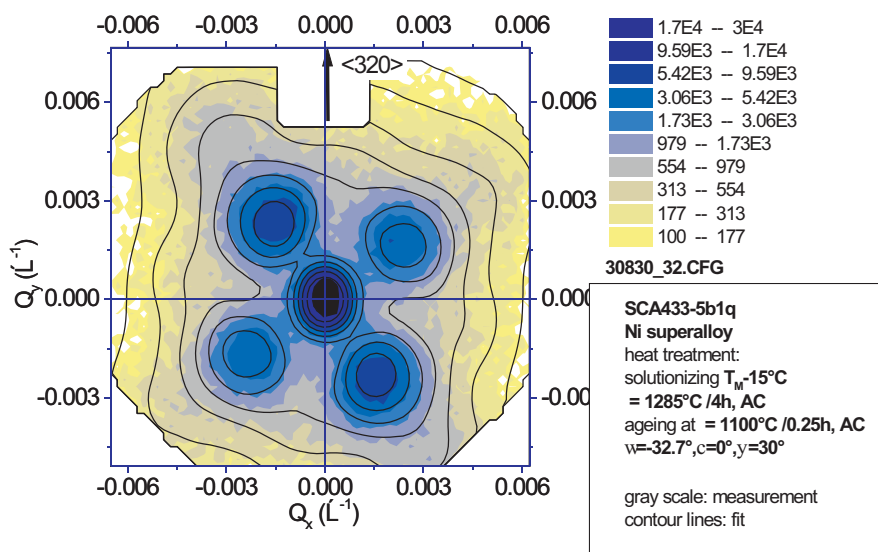


Fig. 2. Superalloy SCA433: selected SANS pattern. Measured (color-scale) and fitted (equi-intensity lines) 2D differential cross-section.