

**mgr inż. Marta Ciemiorek-Bartkowska**  
Wydział Inżynierii Materiałowej  
Politechnika Warszawska

## **Anizotropia właściwości mechanicznych i zdolność do formowania ultradrobnoziarnistych płytek ze stopów aluminium**

Materiały ultradrobnoziarniste (ang. ultrafine-grained, UFG) definiowane jako polikryształy o wielkości ziarna poniżej 1  $\mu\text{m}$  charakteryzują się one nowymi, i często lepszymi, właściwościami w porównaniu z materiałami o konwencjonalnej wielkości ziarna (ang. coarse grained, CG). Wyróżniającą cechą materiałów UFG, której zawdzięczają swoją popularność, jest bardzo wysoka wytrzymałość mechaniczna, której jednak często towarzyszy utrata plastyczności. Materiały UFG były obiektem intensywnych badań podstawowych, głównie dotyczących zmian mikrostruktury podczas procesów wytwarzania, mechanizmów rozdrobnienia ziarna oraz charakterystyki podstawowych właściwości (poprzez pomiary twardości i w próbie rozciągania). Materiały UFG wciąż nie są szeroko skomercjalizowane, co można przypisać małej ilości badań aplikacyjnych, niewielkim rozmiarom partii produkcyjnych, a także ograniczonej plastyczności.

Istotnym krokiem w kierunku komercjalizacji materiałów UFG jest prowadzenie badań skoncentrowanych na rzeczywistych procesach formowania. Dlatego też niniejsza rozprawa koncentruje się na wytwarzaniu materiałów UFG w postaci płytek, nadających się do dalszych procesów kształtowania i ocenia ich podatność na formowanie. W pracy założono, że właściwości izotropowe płyt ultradrobnoziarnistych oraz odpowiednie warunki zewnętrzne, tj. szybkość odkształcenia i temperatura, pozwolą na zwiększenie ciągliwości i uzyskanie odkształcalności co najmniej równoważnej materiałowi o konwencjonalnej wielkości ziarna. Należy zaznaczyć, że każda droga przeróbki plastycznej prowadząca do wytworzenia blachy lub płyty skutkuje również pewnym stopniem anizotropii, którą można określić jako różne właściwości mechaniczne w zależności od kierunku badania. Anizotropia może skutkować różnymi wadami formowanych obiektów, takimi jak tworzenie się „uch” czy pocienianie ścianek w określonych kierunkach. Dlatego też celem pracy jest wytworzenie ultradrobnoziarnistych płyt ze stopów aluminium charakteryzujących się niską anizotropią, poprawienie ich ciągliwości oraz poddanie ich próbom formowania.

Do uzyskania mikrostruktury UFG płyt zastosowano dwie techniki, tj. przyrostowe przeciskanie przez kanał kątowy (ang. Incremental Equal Channel Angular Pressing, I-ECAP)

i metoda hybrydowa składająca się z wielozakrętowego przeciskania przez kanał kątowy (ang. multi turn ECAP, mt-ECAP), po którym następuje spęczanie. Metodą I-ECAP przetworzone zostało aluminium AA1050 i stop AA3003, natomiast metodą hybrydową stop AA5754. Wytwarzane płytki zostały scharakteryzowane pod względem jednorodności mikrostrukturalnej, tekstury krystalograficznej, izotropii właściwości mechanicznych, anizotropii płaskiej i normalnej, umocnienia odkształceniowego, czułości na szybkość odkształcania oraz zdolności do formowania.

Uzyskane wyniki wskazują, że obie metody przetwarzania prowadzą do uzyskania mikrostruktury UFG i izotropowych właściwości mechanicznych. Dla wszystkich badanych materiałów średnia wartość współczynnika Lankforda  $r$  mieści się w zakresie typowym dla materiałów o strukturze RSC, a anizotropia płaska,  $\Delta r$ , jest najmniejsza dla płyt po I-ECAP w porównaniu do płyt przetwarzanych innymi metodami opisanymi w literaturze. Przypisuje się to zmniejszeniu intensywności tekstury krystalograficznej. Ponadto, mimo że w próbie rozciągania w temperaturze pokojowej, badane materiały wykazują ograniczoną ciągliwość, możliwe jest jej znaczne zwiększenie, nawet do 82% całkowitego wydłużenia, poprzez podwyższenie temperatury, dzięki zmniejszeniu objętości aktywacji i zachodzeniu procesów dyfuzji. Jako próbę odkształcalności przeprowadzono test tłoczenia w podwyższonej temperaturze. Wykazano, że materiał UFG charakteryzuje się nawet dwukrotnie większą wysokością miseczki w porównaniu z CG.

prof. dr hab. inż. Małgorzata Lewandowska

mgr inż. Marta Ciemiorek-Bartkowska

**Marta Ciemiorek-Bartkowska, Msc.**

Faculty of Materials Science and Engineering  
Warsaw University of Technology

## **Anisotropy of Mechanical Properties and Formability of Ultrafine Grained Plates Made of Aluminium Alloys**

Ultrafine-grained materials (UFG), defined as polycrystals characterized by grain size below 1  $\mu\text{m}$ , feature new and often superior properties in comparison to conventional coarse-grained (CG) ones. In particular, they exhibit significant enhancement of mechanical strength, which however is often accompanied by a drastic loss of ductility. A great number of basic research has been carried out on UFG materials, mainly focusing on microstructure changes during processing, mechanisms of grain refinement and characterization of basic properties (hardness measurements and tensile tests), yet they are still not widely commercialized, which can be attributed to a lack of applied research, small sizes of manufacturing batches, as well as limited ductility.

A crucial step toward the commercialization of UFG materials is conducting applied research focused on actual forming processes. For that reason, this dissertation focuses on producing UFG materials in a form of a plate, as this shape is suitable for further sheet forming processes, and evaluating their formability. In the thesis, it is assumed that the isotropic properties of UFG plates and proper external conditions, i.e. strain rate and temperature, will make it possible to increase ductility and obtain formability at least equivalent to the material of conventional grain size. It should be noted that every processing route leading to producing a sheet or plate results in a certain degree of anisotropy, which can be defined as various mechanical behavior depending on the testing direction. Such anisotropy can result in various faults of the formed objects, such as earing and excessive thinning in certain directions. Thus, the objective of the thesis is to manufacture UFG aluminum alloy plates characterized by low anisotropy, improve their ductility and subject them to forming tests.

To produce plates, two techniques have been used, i.e. Incremental Equal Channel Angular Pressing (I-ECAP) and Hybrid Processing composed of multi-turn Equal Channel Angular Pressing followed by upsetting. I-ECAP has been used for processing AA1050 and AA3003, while Hybrid Processing for AA5754. The manufactured plates have been evaluated in terms of microstructural homogeneity, crystallographic texture, mechanical properties isotropy, planar and normal anisotropy, strain hardening ability, strain rate sensitivity, and formability.

The obtained results indicate that both processing methods lead to UFG microstructure and isotropic mechanical properties. For all the materials investigated, parameters describing anisotropy, mean r-value, are in a range typical for fcc materials, yet planar anisotropy,  $\Delta r$ , is smaller for plates after I-ECAP than for plates processed by any other methods described in the literature. This is attributed to the reduction of crystallographic texture intensity. Furthermore, even though in a tensile test conducted at room temperature, the metals show limited ductility, it is possible to enhance it significantly by increasing temperature, even to 82% of total elongation, facilitated by reduced activation volume and diffusion processes. As a formability trial, the cupping test was conducted at elevated temperature, resulting in an even two-fold increase of cup height for UFG metal in comparison to CG one.

prof. dr hab. inż. Małgorzata Lewandowska

mgr inż. Marta Ciemiorek-Bartkowska