

**Sekcja Teorii Procesów Przeróbki Plastycznej
Komitetu Metalurgii PAN**

**Sekcja Mechaniki Materiałów
Komitetu Mechaniki PAN**

VIII Seminarium Naukowe

**ZINTEGROWANE STUDIA PODSTAW
DEFORMACJI PLASTYCZNEJ METALI**

PLASTMET' 2012



MATERIAŁY KONFERENCYJNE

**20 - 23 listopada 2012
Łańcut - Zamek**

Zastosowania kryteriów granicznych Burzyńskiego

I. Metale i kompozyty metaliczno-ceramiczne

II. Pianki metaliczne

Teresa Fraś^{1,2)}, Jerzy Luckner¹⁾, Marcin Nowak¹⁾, Zdzisław Nowak¹⁾, Ryszard B. Pęcherski¹⁾,
A. Rusinek²⁾, A. Stręk³⁾

¹⁾Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, ²⁾Ecole Nationale d'Ingénieurs de Metz (ENIM) France,

³⁾AGH Kraków

Omówiono założenia energetycznego kryterium wyężenia Burzyńskiego oraz wynikające z niego spektrum kryteriów granicznych dla materiałów izotropowych. Oryginalną część stanowi prezentacja własnych wyników badań doświadczalnych dla różnych procesów III. w deformacji materiałów metalicznych oraz kompozytów metaliczno-ceramicznych. Przedstawiono również znane z literatury wyniki badań doświadczalnych i modelowania pianek metalicznych oraz własną propozycję opisu stanu granicznego dla tych materiałów z zastosowaniem elipsoidalnej powierzchni granicznej Burzyńskiego.

Badania doświadczalne wykazują, że w przypadku materiałów metalicznych oraz kompozytów metaliczno-ceramicznych poddanych próbom jednoosiowym, ścinania lub dla złożonych obciążeń, obserwuje się często dość duże odchyłki od kryterium Hubera-Misesa. Ujawnia się wtedy często efekt różnicy wytrzymałości przy ściskaniu i rozciąganiu. Także zmierzone wartości graniczne dla ścinania nie pokrywają się z tymi, które wynikają z kryterium Hubera-Misesa. Te znane od dawna spostrzeżenia były motywacją dla Włodzimierza Burzyńskiego, który w swojej rozprawie doktorskiej pod kierunkiem naukowych Maksymiliana Tytusa Hubera zaproponował energetyczną hipotezę wyężenia, z której wynika całe spektrum kryteriów granicznych zapewniających lepszą zgodność z dostępnymi danymi doświadczalnymi [1-2].

W pierwszej części pracy przedstawiono własne wyniki badań doświadczalnych oraz modelowania dotyczące zastosowań kryteriów IV. w Burzyńskiego do opisu stanów granicznych uplastycznienia dla miedzi typu OFHC (Oxygen Free High Conductivity), stali o podwyższonej wytrzymałości typu A60 oraz dla pewnych stopów aluminium i magnezu. Przedmiotem badań są także kompozyty o osnowie metalicznej z cząstkami ceramicznymi oraz kompozyty o osnowie ceramicznej z cząstkami metalicznymi. Nowe wyniki skonfrontowano z tymi, które omawiano wcześniej w [3-4]. W szczególności, omówiono dokładniej zaproponowaną oryginalnie przez Burzyńskiego koncepcję korekty wartości

granicznego naprężenia przy ścinaniu oraz wynikający z niej wielopowierzchniowy warunek plastyczności. Rozważono także problem wypukłości dyskutowanego warunku plastyczności. W części drugiej zajęto się warunkami granicznymi dla pianek metalicznych. Na podstawie literatury [5] omówiono wyniki badań doświadczalnych oraz próby opisu teoretycznego stanów granicznych dla różnych pianek metalicznych. Przedstawiono także własną propozycję zastosowania elipsoidalnego kryterium Burzyńskiego. Przedyskutowano szczegółowo specyfikację tego kryterium, podaną po raz pierwszy w [6], dla różnego rodzaju pianek metalicznych. Omówiono dalsze możliwości zastosowania kryterium Burzyńskiego dla materiałów komórkowych.

Applications of the Burzyński failure criteria

I. Metals and metal-ceramic composites

II. Metal foams

Assumptions of the energy-based criterion of material effort proposed by Burzyński and resulting limit (failure) criteria for isotropic solids are discussed. The original part consists of presentation of own results of experimental investigations for different deformation processes of metallic materials as well as metal-ceramic composites. Also the results of experiments and modelling of metal foams known in the literature are discussed. The original part of the study consists of own proposition how to describe the limit states of metal foams with application of Burzyński's ellipsoidal limit surface.

The experimental observations show that some metals and in particular metal-ceramic composites subjected to uniaxial loading, shear tests or complex loading conditions do not obey the commonly applied Huber-Mises yield condition. The so-called strength differential effect is often detected, i.e. the value of yield strength in uniaxial tension appears different than the value of yield strength obtained in the compression test. Also the measured shear strength at the yield point is different from that one predicted from Huber-Mises criterion. It was Włodzimierz Burzyński who in his doctor dissertation, prepared under the supervision of Maksymilian Tytus Huber, proposed an energy-based hypothesis leading to failure criteria, which provide better agreement with available experimental data, [1-2].

The aim of the first part of the paper is to study experimentally and theoretically the applications Burzyński failure criteria for the description of the limit state of yielding of metals (OFHC Copper, A60 steel, some aluminum and magnesium alloys) as well as of some metal matrix composites reinforced with ceramic particles and ceramic matrix composites with metal particles. The new results are confronted with the studies presented in earlier papers [3-4]. In particular, the Burzyński's concept of the shear yield strength correction is analyzed and the resulting multisurface yield limit condition is elaborated. The problem of convexity of the limit surface is also considered.

In the second part, the limit conditions of metal foams are dealt with. Based on the data available from the literature, the results of experimental investigations of metal foams are considered and attempts of theoretical description of limit states are discussed. The own

proposition of the application of the ellipsoid criterion proposed originally by Burzyński is presented. The specification of this criterion for different kinds of metal foams is detailedly discussed according to the original proposition given in [6]. Further possibilities of the application of Burzyński's failure criteria for cellular materials are discussed.

- [1] W. Burzyński, *Studium nad Hipotezami Wyężenia*, Akademia Nauk Technicznych, Lwów, 1928; see also: *Selected passages from Włodzimierz Burzyński's doctoral dissertation „Study on material effort hypotheses”*, ENGINEERING TRANSACTIONS, **57**, 185-215, 2009.
- [2] W. Burzyński, *Teoretyczne podstawy hipotez wyężenia*, Czasopismo Techniczne, Lwów, **47**, 1-41, 1929; see also: *Theoretical foundations of the hypotheses of material effort. Włodzimierz Burzyński (1900-1970)*, ENGINEERING TRANSACTIONS, **56**, 189-225, 2008.
- [3] T. Fraś, Z.L. Kowalewski, R.B. Pęcherski, A. Rusinek, *Applications of Burzyński failure criteria. Isotropic materials with asymmetry of elastic range*, ENGINEERING TRANSACTIONS, **58**, 3-13, 2010.
- [4] G. Vadillo, J. Fernandez-Saez, R.B. Pęcherski, *Some applications of Burzyński yield condition in metal plasticity*, MATERIALS & DESIGN, **32**, 628-635, 2011.
- [5] M.F. Ashby, A.G. Evans, N.A. Fleck, L.J. Gibson, J.W. Hutchinson, H.N.G. Wadley, *Metal Foams: A Design Guide*, Butterworth-Heinemann, Boston, 2000.
- [6] A.M. Stręk, *Yield criteria and their verification for metal foams*, 148-149, Book of Abstracts of the 38th Solid Mechanics Conference, Warsaw, 27-31 August, 2012, R. Pęcherski, J. Rojek, P. Kowalczyk (eds.), Institute of Fundamental Technological Research (IPPT) of the Polish Academy of Sciences, Warsaw, 2012.