

**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**

Graniczne krzywe tłochności przy zmiennych ścieżkach odkształcenia

Jerzy Rojek¹⁾, Dmytro Lumelsky¹⁾, Franciszek Grosman²⁾, Marek Tkocz²⁾, Ryszard Pęcherski¹⁾, Władysław Chorzępa³⁾

¹⁾ Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, ²⁾ Politechnika Śląska, ³⁾ Kirchoff Polska Sp. z o. o.

W niniejszej pracy przedstawiono doświadczalne i numeryczne badanie granicznych krzywych tłochności (GKT) w kształtowaniu blach przy zmiennych ścieżkach odkształcenia. Znaną wadą GKT wyrażonych w funkcji odkształceń jest ich zależność od ścieżki odkształcenia. Próby tłochności stosowane do wyznaczenia GKT dają liniowe (proporcjonalne) ścieżki odkształcenia, podczas gdy rzeczywiste wieloetapowe procesy tłoczenia prowadzą do skomplikowanych nieliniowych ścieżek odkształcenia. Dlatego określenie wpływu ścieżki odkształcenia na tłochność blachy jest bardzo ważnym zagadnieniem. Alternatywne granice tłochności wyrażone w naprężeniach przy swoich zaletach, jak np. niezależność od ścieżki odkształcenia, mają wiele wad. Przede wszystkim naprężenia nie mogą być zmierzone bezpośrednio, a więc i naprężeniowe graniczne krzywe tłochności nie mogą być wyznaczone bezpośrednio. Niedogodności w stosowaniu naprężeniowych GKT sprawiają, że odkształceniowe GKT są w dalszym ciągu podstawowym kryterium tłochności stosowanym w praktyce. Przy stosowaniu odkształceniowych GKT należy pamiętać jednak o ich zależności od ścieżki odkształcenia. Wpływ ścieżki odkształcenia na GKT jest wciąż przedmiotem intensywnych badań.

Program badań doświadczalnych przedstawionych w pracy obejmował próby tłochności metodą Nakazimy dla wstępnie wyprężonej blachy ze stali DC04 o grubości 1 mm. W wyniku wstępnego wyprężenia w testach otrzymywano silnie nieliniową ścieżkę odkształcenia mającą duży wpływ na GKT. GKT otrzymane dla blachy wyprężonej porównano z GKT dla blachy niewyprężonej. Przedstawiono nową koncepcję odkształceniowych GKT niezależnych od ścieżki odkształcenia.

Prace doświadczalne połączono z pracami numerycznymi. Stworzono model numeryczny umożliwiający symulację całego procesu odkształcenia. Symulacja numeryczna obejmowała następujące etapy: wyprężanie blachy, odciążenie, wycięcie wykrojki z blachy wyprężonej oraz próbę wybrzuszania stemplem kulistym. Wykonano symulacje próby wybrzuszania dla blach wstępnie niewyprężonych oraz wyprężonych. Wyniki numeryczne porównano z wynikami doświadczalnymi. Uzyskana zgodność wyników wskazuje na

prawidłowe działanie modelu numerycznego oraz możliwość wykorzystania go do dalszych badań teoretycznych.

Praca finansowana ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego Program Operacyjny: Innowacyjna Gospodarka 2007–2013, numer projektu POIG.01.03.01-14-209/09, akronim NUMPRESS, ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego projekt badawczy nr N N501 1215 36 oraz ze środków Narodowego Centrum Nauki jako projekt badawczy nr 2311/B/T02/2011/40

Forming limit curves for variable strain paths

Experimental and numerical investigations of forming limit curves (FLC) at metal sheet forming for variable strain paths will be presented. The known drawback of the strain based FLCs is their dependence on strain paths. Standard experimental tests used to determine the FLC induce linear or nearly linear strain paths, while real multi-step sheet forming processes are associated with complex deformation paths. Therefore determination of sheet metal formability for changing deformation paths is an issue of great practical importance. Stress-based forming limit curves are less dependent on the strain path effect, however, the use of FLSD poses some inconveniences. Stresses in the deforming sheet cannot be measured directly, and in consequence, forming limit stress curves cannot be obtained directly from experiment. Stress-based FLC must be calculated from the experimental strain-based FLC or directly from a numerical model. In view of the mentioned difficulties associated with stress-based forming limit diagrams, it is understandable that strain based forming limit diagrams are still used in practice despite their drawbacks. However, when using strain based FLCs, one must remember about the strain path effect. Effect of strain path changes on the forming limit curve is still the subject of intensive experimental and theoretical work.

The experimental studies presented in this paper consisted of Nakazima-type formability test carried out for a pre-stretched 1 mm thick DC04 steel sheet. Pre-stretching of the material before formability tests leads to abrupt changes in deformation paths influencing the FLC. The experimental FLCs for the as-received and pre-deformed blank have been determined. New concept of strain-path independent FLCs will be presented.

Experimental studies have been combined with numerical simulations of the formability tests. A numerical model has been developed allowing us to simulate complex deformation paths of the material subjected to a preliminary stretching, and then bulging tests performed to determine the FLC. Comparison of numerical and experimental results obtained in formability tests performed for the pre-stretched blanks has confirmed validity of the developed numerical model. The numerical model can be employed to construct numerical strain-based FLCs for different strain paths.

The authors acknowledge funding from: (1) European Regional Development Fund within the framework of the Innovative Economy Program, project number POIG.01.03.01-14-

209/09, acronym – NUMPRESS, (2) Ministry of Science and Higher Education through research project N N501 1215 36, (3) National Science Centre through research project No. 2311/B/T02/2011/40