

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННЫХ ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОНКОЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА СОВМЕЩЕННЫМ МЕТОДОМ ПРОКАТКИ И ОДНООСНОГО РАСТЯЖЕНИЯ ПЛОСКИХ ОБРАЗЦОВ

Г.Л. Петросян, М.Б. Сафарян, А.К. Карапетян, С.В. Аракелян

Государственный инженерный университет Армении (Политехник)

Описывается метод определения истинных пластических свойств тонколистового материала путем совмещения прокатки и последующего испытания на одноосное растяжение плоских образцов. Метод позволяет получить при больших деформациях зависимости истинных напряжений от истинных пластических деформаций. Показано, что на основе полученных данных можно построить диаграмму деформирования материала и определить пористость образца после его деформирования.

Ключевые слова: одноосное растяжение, прокатка, плоский образец, напряжение, деформация, пластические свойства, кривая упрочнения.

Введение. Как известно, одним из методов построения кривых упрочнения листового материала является испытание на одноосное растяжение плоских образцов. При этом возникают трудности, связанные с наличием несоосности приложенного усилия и образованием сложной формы шейки. Поскольку при испытании плоских образцов из тонколистового материала невозможно получить большие и однородные деформации, то в специальных установках проводят испытание односторонним давлением мембран из листового материала. Однако при этом возникает плоско-напряженное состояние с растягивающими напряжениями [1] и несколько ограничивается использование полученных данных для плоско-деформированного состояния с сжимающими напряжениями, как, например, при прокатке плоской полосы.

В производственной практике известен сравнительно легко осуществляемый, но недостаточно изученный совмещенный метод одноосного растяжения плоских образцов и их прокатки [2].

Целью настоящей работы является разработка алгоритма для использования совмещенного метода одноосного растяжения и прокатки плоских образцов из тонколистового материала и его применение при определении истинных пластических свойств алюминиевого листа при больших деформациях.

Методы исследования. Проведено исследование истинных пластических свойств тонколистового материала при больших пластических деформациях совмещенным методом одноосного растяжения и прокатки с использованием прокатанных образцов, имеющих различные степени упрочнения. Эти образцы получают следующим образом: от исходной тонколистовой заготовки отрезается определенное количество полос, часть которых используется для изготовления образцов данной толщины, остальная часть прокатывается с данной степенью деформирования, из которых также изготавливается определенное количество образцов, другая часть прокатывается для изготовления следующей партии образцов и т.д. Отметим, что описанная методика построения кривых упрочнения тонколистового материала с большими степенями деформации отличается тем, что образцы подвергаются одноосному растяжению в условиях малых деформаций до момента образования шеек. Это обстоятельство исключает возникновение факторов снижения точности измерений. Для определения истинных пластических свойств алюминиевого листа толщиной $h_0 = 2,5$ мм сначала было отрезано 12 пластинок, из которых три пластинки были отложены для изготовления образцов данной толщины, а остальные прокатаны таким образом, чтобы получить три комплекта образцов, в каждом по 3 штуки с толщинами $h = 2,05$; 1,5 и 1,1 мм. При этом по формуле $\bar{\varepsilon} = \ln(h_0/h)$ определялись соответствующие истинные логарифмические деформации по толщинам: 0,20; 0,51; 0,81. Далее из пластинок были изготовлены образцы шириной 11 мм и рабочей длиной для растяжения 25 мм (рис. 1).

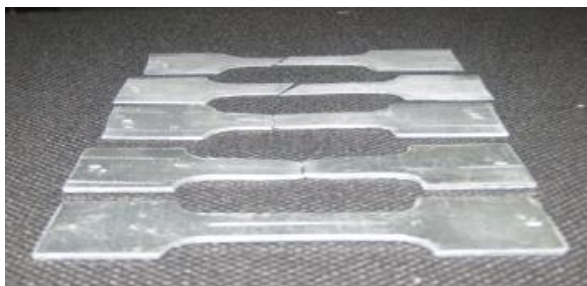


Рис. 1. Фотография испытанных образцов

Испытания образцов проводились на испытательной машине Tira-test 2300. Для каждого образца была записана кривая растяжения, одна из которых приведена на рис. 2.

Результаты эксперимента и их обсуждение. Проведен анализ всех кривых растяжений и определены значения величин характерных точек. Исходя из геометрических размеров образцов и данных кривых растяжения, вычислены истинное напряжение $\sigma_u = \sigma$ и предел текучести материала σ_T :

$$\sigma = \frac{P_i}{A_i}, \quad \sigma_T = \frac{P_T}{A_0}, \quad (1)$$

где P_i и A_i – текущие усилие и площадь поперечного сечения образца; P_T – усилие, соответствующее началу пластической деформации; A_0 – площадь поперечного сечения исходной заготовки.

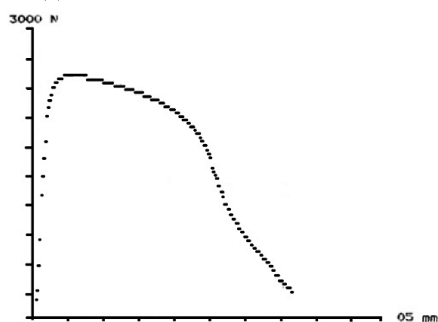


Рис. 2. Кривая растяжения алюминиевого образца толщиной 2,05 мм, записанная на испытательной машине Tira-test 2300

Так как кривые растяжения образцов не имеют площадок текучести, то определяются условные (технические) пределы текучести $\sigma_T = \sigma_{0,2}$ [3]. Для этого из точки, отстоящей от начала координат на величину, равную 0,2% от остаточной деформации, которая в данном случае равна 0,05 мм (рис. 3), проводится линия, параллельная линии упругой деформации, и на пересечении с кривой растяжения находится точка P_T начала пластической деформации.

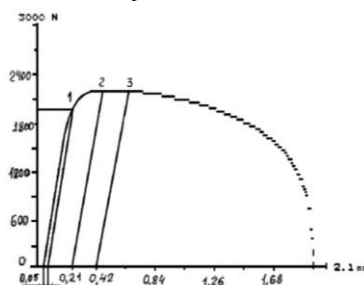


Рис. 3. Пример анализа кривой растяжения (образец толщиной 1,5 мм)

Для определения величины текущих значений истинных напряжений участок, примыкающий к границе условной текучести (точка 1 на рис. 3),

разделяется на несколько частей (точки 2 и 3). Чтобы найти характерные точки для построения кривой упрочнения, для каждого образца рассчитаны истинные напряжения $\sigma_{и}$ для двух точек и соответствующие им истинные (логарифмические) деформации с усредненными величинами $\bar{\varepsilon} = \ln A_0/A_t = \ln(1 + \varepsilon)$, где $\varepsilon = \Delta l/l_0$ - условная относительная деформация, а l_0 - начальная длина образца. Отметим, что при малых деформациях $\bar{\varepsilon} = \varepsilon$. Результаты расчетов с учетом величин истинных логарифмических деформаций предварительной прокатки образцов приведены в таблице.

Таблица

Истинные величины $\sigma_{и}$ и $\bar{\varepsilon}$, полученные при растяжении плоских образцов

Пластические характеристики материала	Толщина образцов, мм								
	2,5		2,05		1,5		1,1		
$\bar{\varepsilon}$	0	0,01	0,02	0,23	0,24	0,52	0,53	0,83	0,84
$\sigma_{и}, МПа$	109	110	111	113	114	128	129	128	129

На основе этих данных для исследуемой алюминиевой полосы построен график зависимости истинных напряжений $\sigma_{и}$ от логарифмической деформации $\bar{\varepsilon}$ (рис. 4), который аппроксимирован следующей линейной функцией:

$$\sigma_{и} = 110 + 25 \bar{\varepsilon} \quad (2)$$

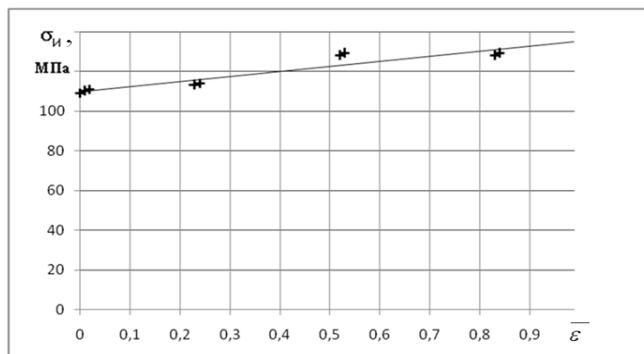


Рис. 4. Опытный график зависимости истинных напряжений $\sigma_{и}$ от истинной деформации $\bar{\varepsilon}$ для алюминиевой полосы

Предел прочности σ_{δ} исходной заготовки составлял 112,9 МПа, относительное равномерное удлинение - 2%. По мере упрочнения предел прочности увеличился до 125,2 МПа, а относительное равномерное удлинение не претерпело изменений.

Разработанный алгоритм использования совмещенного метода прокатки и одноосного растяжения плоских образцов из тонколистового материала и экспериментальные данные исследования истинных пластических свойств алюминиевого листа при больших деформациях позволяют по полученным данным построить диаграмму деформирования материала (ДДМ) и определить пористость образца после его деформирования. ДДМ - это зависимость интенсивности напряжения σ_i от интенсивности пластических деформаций ε_i , не зависящей от типа напряженного состояния, т.е.

$$\sigma_i = \Phi(\varepsilon_i), \quad (3)$$

где

$$\sigma_1 = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}, \quad (4)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}, \quad (5)$$

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - главные напряжения; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ - главные деформации.

В случае растяжения и прокатки плоских образцов в основном принимается, что они находятся в плоском напряженно-деформированном состоянии. В частности, при растяжении образца отсутствуют напряжения по толщине и деформации по ширине, т.е. для компонентов напряженно-деформированного состояния, а также для интенсивностей напряжений и деформаций имеем

$$\sigma_1 = \sigma, \quad \sigma_2 = \sigma/2, \quad \sigma_3 = 0, \quad \sigma_i = \sqrt{3}\sigma/2, \quad (6)$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon, \quad \varepsilon_2 = 0, \quad \varepsilon_3 = -\varepsilon, \quad \varepsilon_i = 2\varepsilon/\sqrt{3}. \quad (7)$$

Далее по формулам (6) и (7) получаем величины интенсивностей напряжений и деформаций при различных степенях деформации образца и строим ДДМ.

Для определения изменения значений начальной пористости малопористого материала после определенной степени деформирования образца допускается, что как в листовом, так и в прутковом материалах имеются неметаллические включения и микропоры, которые создают в материале начальную пористость малой величины. Для этого используется следующая формула определения текущей пористости материала V деформационной теории пластичности пористых материалов [4]:

$$v = 1 - (1 - v_0) \exp \left(- \frac{9v_0^m \sigma_0 \varepsilon_{eq}}{(1 - v_0)^{3n} \sigma_{eq}} \right), \quad (8)$$

где V_0 - начальная пористость материала; $\sigma_0 = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$ - среднее напряжение, которое в данном случае принимает следующий вид: $\sigma_0 = \sigma/2$; σ_{eq} и ε_{eq} - эквивалентные напряжение и деформация, которые при малых пористостях принимаются равными соответственно σ_i и ε_i ; n и m - параметры пористости.

Значения изменения пористости материала определялись для величин $m=1$, $n=0,25$. Задавая величины σ и ε , по формуле (8) с использованием (6) и (7) определяем пористость материала после заданной степени деформирования образца. Установлено, что при малых начальных пористостях и степенях деформирования $v_0=0,01$ ($v_0=1\%$), $\varepsilon=0,02$ получаем $v=0,011$; при $v_0=0,02$ ($v_0=2\%$), $\varepsilon=0,02$ - $v=0,0224$; при больших начальных пористостях $v_0=0,10$ ($v_0=10\%$), $\varepsilon=0,02$ - $v=0,101$; при больших начальных пористостях и степенях деформирования $v=0,10$, $\varepsilon=0,2$ - $v=0,113$; при $v_0=0,10$, $\varepsilon=0,4$ - $v=0,126$.

Анализ полученных данных показывает, что при растяжении образца начальная пористость увеличивается. При малых деформациях увеличение пористости незначительно, и после прокатки она быстро исчезает. В случае больших степеней деформирования образца увеличение пористости материала становится существенным. При прокатке эта пористость также снижается [5]. Это позволяет совмещенным методом прокатки и одноосного растяжения плоских образцов из тонколистового материала исследовать истинные пластические свойства спеченных листовых материалов при больших пластических деформациях.

Заключение. На основе разработанного алгоритма использования совмещенного метода прокатки и одноосного растяжения плоских образцов из тонколистового материала и исходя из экспериментальных данных исследования истинных пластических свойств алюминиевого листа, можно построить диаграмму деформирования материала и определить пористость образца после его деформирования.

Исследование выполнено при финансовой поддержке ГКН МОН РА в рамках научного проекта N 11-2d43.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Պետրոսյան Հ.Գ.** Ծակոտկեն նյութի իրական պլաստիկ հատկությունների որոշման փորձարարական և երկմետաղական խողովակների ստացման մեթոդները: Տեխն. գիտ. թեկ. Ատենախոսություն.- Երևան, 2008. - 141 էջ:
2. **Джонсон У., Меллор П.Б.** Теория пластичности для инженеров. - М.: Машиностроение, 1979. - 567 с.
3. **Феодосьев В.И.** Сопrotивление материалов: Учебник для вузов. – 9-е изд., перераб.- М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 512 с.
4. **Петросян Г.Л.** Пластическое деформирование порошковых материалов. - М.: Металлургия, 1988. - 152с.
5. **Петросян Г.Л., Петросян А.Г., Левонян Г.Л.** Особенности определения пористости спеченного кольца большого диаметра после его раскатки // Труды Международной конференции “ПМ 2012 – Порошковая металлургия: ее сегодня и завтра”, посвященной 60-летию ИПМ АН Украины.- Киев, 2012 (27-30 ноября 2012, Киев).- С. 104.

*Поступила в редакцию 21.10.2013.
Принята к опубликованию 16.04.2014.*

ԲԱՐԱԿ ԹԵՐԹԱՅԻՆ ՄԵՏԱԴԻ ԻՐԱԿԱՆ ՊԼԱՍՏԻԿ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ ՀԱՐԹ ՓՈՐՁԱՆՍՈՒԹՆԵՐԻ ԳԼՈՑՄԱՆ և ԱՌԱՆՑՔԱՅԻՆ ԶԳՄԱՆ ՀԱՄԱԿՑՎԱԾ ՄԵԹՈԴՈՎ

Գ.Լ. Պետրոսյան, Մ.Բ. Սաֆարյան, Ա.Գ. Կարապետյան, Ս.Վ. Առաքելյան

Ներկայացված է բարակ թերթային մետաղի փորձնական եղանակով իրական պլաստիկ հատկությունների որոշման համեմատաբար քիչ հետազոտված մի մեթոդ, որն իրականացվում է փորձանմուշների գլոցման և հետագայում առանցքային ձգման համակցված գործընթացներով: Մեթոդը հնարավորություն է տալիս մեծ դեֆորմացիաների դեպքում ստանալ տվյալներ իրական լարումների և դեֆորմացիաների կախվածության վերաբերյալ: Ստացված տվյալներով կարելի է նմուշի դեֆորմացումից հետո որոշել նրա ծակոտկենությունը:

Առանցքային բաներ. միառանցք ձգում, գլոցում, հարթ փորձանմուշ, լարում, դեֆորմացում, պլաստիկ հատկություններ, ամրացման կոր:

DETERMINING THE TRUE PLASTIC PROPERTIES OF A FINE SHEET MATERIAL BY THE COMBINED METHOD OF ROLLING AND UNIAXIAL STRETCHING OF PLANE SPECIMENS

G.L. Petrosyan, M.B. Safaryan, A.Gh. Karapetyan, S.V. Arakelyan

A method for determining the true plastic properties of a fine sheet material by the method of combined rolling and subsequent testing on a uniaxial stretching of plane specimens is described. The method allows to obtain dependencies of the true stresses depending on plastic deformations at large strains. Based on the data obtained, the specimen porosity after its deformation is determined.

Keywords: uniaxial stretching, rolling, plane specimen, stress, strain, plastic properties, hardening curve.