



**Received:** 28.12.2020**Revised:** 29.01.2021**Accepted:** 26.02.2021**DOI:** 10.17804/2410-9908.2021.1.051-054**THE STRAIN AND STRAIN RATE DEPENDENCE  
OF THE YIELD STRESS OF ALUMINUM**

V. D. Solovei

*Institute of Engineering Science, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,  
34, Komsomolskaya St., Ekaterinburg, Russian Federation* <https://orcid.org/0000-0003-4696-8706>  SoloveiVD@yandex.ru

Corresponding author. E-mail: SoloveiVD@yandex.ru

Address for correspondence: ul. Komsomolskaya, 34, 620049, Ekaterinburg, Russian Federation

Tel.: +7 (343) 375 35 92; fax: +7 (343) 374 53 30

The plastic properties of aluminum (99.5 %) are considered. Using the hardening curves (for strain rates of 0.25, 0.4, and 63.0 s<sup>-1</sup>), analytic dependences of the yield stress of aluminum on strain (in the range between 0.0 and 0.5) and strain rate (in the range between 0.25 and 63.0 s<sup>-1</sup>) have been found.

**Keywords:** aluminum, yield stress, hardening curves, analytic dependence of yield stress on strain and strain rate.

**References**

1. Polukhin P.I., Gun G.Ya., Galkin A.M. *Soprotivlenie plasticheskoi deformatszii metallov i splavov* [Resistance against Plastic Deformation for Metals and Alloys. Handbook]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1976, 488 p. (In Russian).
2. Solovei V.D., Loginov Y.N., Puzanov M.P. Evaluating the Flow Stress of Electrical Steel under Cold Rolling in Terms of the Strain-Rate Hardening Effect. *AIP Conf. Proc.*, 2016, 1785, 040075. DOI: 10.1063/1.4967132.

Подана в журнал: 28.12.2020



УДК 539.3

DOI: 10.17804/2410-9908.2021.1.051-054

## ЗАВИСИМОСТЬ ПРЕДЕЛА ТЕКУЧЕСТИ АЛЮМИНИЯ ОТ ДЕФОРМАЦИИ И СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ

В. Д. Соловей

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук,  
34, ул. Комсомольская, г. Екатеринбург, Российская Федерация*

 <https://orcid.org/0000-0003-4696-8706>  SoloveiVD@yandex.ru

Ответственный автор. Электронная почта: SoloveiVD@yandex.ru  
Адрес для переписки: ул. Комсомольская, 34, г. Екатеринбург, Российская Федерация  
Тел.: +7 (343) 375–35–92; факс: +7 (343) 374–53–30

Рассматриваются пластические свойства технического алюминия (99,5 %). Используя известные кривые упрочнения при сжатии алюминия для скоростей деформации 0,25; 4,0 и 63,0 с<sup>-1</sup>, найдены аналитические выражения для предела текучести алюминия от деформации (в области 0,0–0,5) и от скорости деформации (в области 0,25–63,0 с<sup>-1</sup>).

**Ключевые слова:** алюминий, напряжение течения, аналитическая зависимость напряжения течения от деформации и скорости деформации.

### 1. Введение

При совершенствовании технологических процессов обработки металлов давлением, в которых напряженно-деформированное состояние существенно неоднородно, необходимо знать зависимость предела текучести металла от деформации и скорости деформации в аналитическом виде. В литературе, однако, эта зависимость обычно задается с помощью кривых упрочнения для некоторых скоростей деформации. Такое представление усложняет расчеты напряженно-деформированного состояния.

В работе [1] пластические свойства технического алюминия описываются с помощью кривых упрочнения при сжатии для скоростей деформации 0,25; 4,0 и 63,0 с<sup>-1</sup>, полученных для деформации в пределах 0,0–0,5.

В настоящей работе кривые упрочнения для технического алюминия, представленные в [1], аппроксимируются непрерывными функциями. Аппроксимация производится с помощью метода, использованного в работе [2]. Получены аналитические выражения для предела текучести алюминия от деформации (в области 0,0–0,5) и от скорости деформации (в области 0,25–63,0 с<sup>-1</sup>).

### 2. Аппроксимация кривых упрочнения алюминия для скоростей деформаций $\xi = 0,25; 4,0$ и $63,0$ с<sup>-1</sup>

На рисунке точками представлены кривые упрочнения для сжатия технического алюминия со скоростями деформации  $\xi = 0,25; 4,0$  и  $63,0$  с<sup>-1</sup> [1].

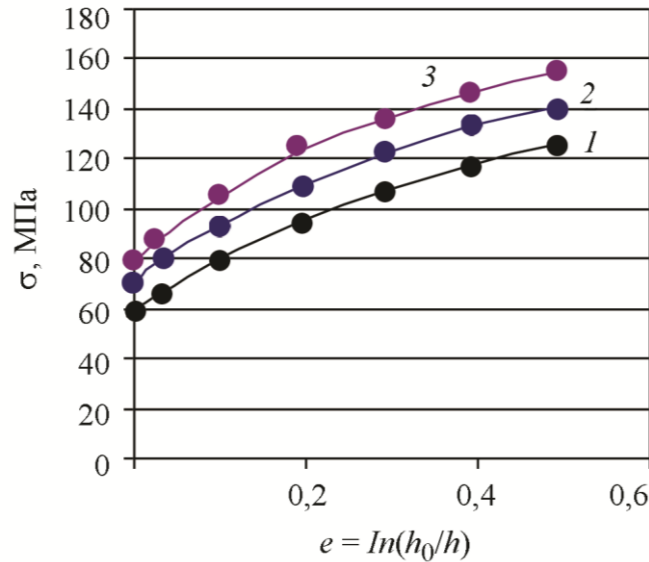
Кривые упрочнения алюминия для различных скоростей деформации построим аппроксимацией по соответствующим точкам с помощью степенных функций

$$\sigma = k_i + l_i e^{m_i}, \quad (1)$$

где  $i = 1; 2$  и  $3$  для скоростей деформации  $\xi = 0,25; 4,0$  и  $63,0 \text{ с}^{-1}$  соответственно.

Вычисления дают следующие значения искомым коэффициентов:

$$\begin{aligned} k_1 &= 59,0206; & l_1 &= 110,3585; & m_1 &= 0,693; \\ k_2 &= 69,8271; & l_2 &= 116,8319; & m_2 &= 0,676; \\ k_3 &= 76,2594; & l_3 &= 124,0473; & m_3 &= 0,614. \end{aligned}$$



Кривые упрочнения алюминия при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  для скоростей деформации,  $\text{с}^{-1}$ :  
 $1 - 0,25; 2 - 4,0; 3 - 63,0$  [1] (точки – данные; сплошные линии – результат аппроксимации)

Точность аппроксимации составляет менее 2 %.

### 3. Аналитическая зависимость предела текучести алюминия от деформации и скорости деформации

Зависимость предела текучести технического алюминия на сжатие  $\sigma$  от деформации  $e$  и скорости деформации  $\xi$  определим в виде

$$\sigma(e, \xi) = a_0(e) + a_1(e) \ln \xi + a_2(e) \ln^2 \xi. \quad (2)$$

Аппроксимация кривых упрочнения (1) дает следующие соотношения для коэффициентов в (2):

$$\begin{aligned} a_0(e) &= a_{01} \sigma_1(e) + a_{02} \sigma_2(e) + a_{03} \sigma_3(e); \\ a_1(e) &= a_{11} \sigma_1(e) + a_{12} \sigma_2(e) + a_{13} \sigma_3(e); \\ a_2(e) &= a_{21} \sigma_1(e) + a_{22} \sigma_2(e) + a_{23} \sigma_3(e), \end{aligned} \quad (3)$$

где

$$\begin{aligned} a_{01} &= 0,3746; & a_{02} &= 0,7514; & a_{03} &= -0,1261; \\ a_{11} &= -0,3607; & a_{12} &= 0,3607; & a_{13} &= -0,0; \\ a_{21} &= 0,0652; & a_{22} &= -0,1308; & a_{23} &= 0,0656. \end{aligned}$$

Здесь  $\sigma_1(e)$ ;  $\sigma_2(e)$  и  $\sigma_3(e)$  – значения напряжений, относящиеся, соответственно, к кривым упрочнения 1; 2 и 3 представленным соотношением (1), для деформации  $e$ .

Точность аппроксимации составляет менее 0,01 %.

Соотношения (1), (2) и (3) определяют зависимость предела текучести технического алюминия на сжатие  $\sigma$  от деформации (в диапазоне  $0,0 \leq e \leq 0,5$ ) и скорости деформации (в диапазоне  $0,25 \leq \dot{\xi} \leq 63,0 \text{ с}^{-1}$ ).

#### 4. Заключение

Аппроксимацией известных кривых упрочнения технического алюминия (99,5 %) для сжатия найдена аналитическая зависимость предела текучести алюминия от деформации (в области  $0,0 - 0,5$ ) и скорости деформации (в области  $0,25 - 63,0 \text{ с}^{-1}$ ). Вне указанной области найденные соотношения могут быть использованы для оценки величины предела текучести технического алюминия.

#### Литература

1. Полухин П. И., Гун Г. Я., Галкин А. М. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов : справочник. – М. : Metallurgy, 1976. – 488 с.
2. Solovei V. D., Loginov Y. N., Puzanov M. P. Evaluating the Flow Stress of Electrical Steel under Cold Rolling in Terms of the Strain-Rate Hardening Effect // AIP Conf. Proc. – 2016. – 1785. – 040075. – DOI: 10.1063/1.4967132.