УДК621.73.143:669.14.018.8

ЗАКОН РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ ШТАМПУЕМОСТИ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

Мищенко В.Г., к.т.н., доцент, *Нагорная И.Ю., аспирант, Ольшанецкий В.Е., д.т.н., профессор

**Запорожский государственный университет*
Запорожский национальный технический университет

В практике обработки листовых материалов из нержавеющей стали ферритно-мартенситного класса важной характеристикой является показатель штампуемости, разработке которого посвящен ряд статей [1-3]. Однако, вероятностный анализ и составление закона распределения указанной характеристики не проводились. В данной работе сделана попытка построить закон распределения показателя, предложенного в [3].

$$W = \delta r n \sigma_* \frac{k_\phi}{k_c} \qquad (1)$$

Здесь δ - предельное равномерное удлинение, r - коэффициент нормальной пластической анизотропии в направлении прокатки, n - коэффициент деформационного упрочнения, κ_ϕ - коэффициент, учитывающий содержание упрочняющей фазы, κ_c - коэффициент, учитывающий параметр решетки структурно-свободного феррита, $\sigma_* = \sigma_в/\sigma_т$ отношение предела прочности к пределу текучести.

Введем в рассмотрение случайные величины R, F и N, возможные значения которых соответственно r, δ и n. Последние два параметра связаны функциональной зависимостью [4]:

$$n = ln(1+\sigma),$$

которую аппроксимируем отрезком степенного ряда

$$n \cong \delta - \frac{\delta^2}{2} \qquad (2)$$

Учитывая, что у сталей с ферритной структурой разброс значений σ_* незначителен, будем использовать среднее значение параметра σ_*=1,2. Постоянными будем также считать структурные характеристики, вычисленные экспериментально с применением специальных соотношений [3].

$$\kappa_\phi = 1,.53,\ \kappa_c = 1,547$$

В этом случае формула (1) запишется так:

$$W = cr(\delta^2 - 0.5\delta^3)\,, \qquad (3)$$

где c - корректирующий фактор.

Следуя рекомендациям монографии [5], ограничимся областью изменения равномерного удлинения δ=0,12÷0,4, в которой коэффициент анизотропии r слабо зависит от δ. В связи с этим плотность вероятностей двумерной случайной величины (δ,r) естественно принять в виде нормального распределения для независимых составляющих F и R:

$$f(\delta,r) = \frac{1}{2\pi\sigma_r\sigma_\delta} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{(r-m_r)^2}{\sigma_r^2} + \frac{(\delta-m_\delta)^2}{\delta_\gamma^2}\right]}, \qquad (4)$$

где $m_r, \sigma_r, m_\delta, \sigma_\delta$ числовые характеристики закона.

Для определения указанных характеристик были проведены эксперименты, на основе которых найдены числовые оценки указанных характеристик

$$m_r = 1.7, \quad \sigma_r = 0.27, \quad m_\delta = 0.26, \quad \sigma_\delta = 0.47\,.$$

При этом коэффициент нормальной анизотропии находился по формуле

$$r = \ln\frac{b_0}{b_k} \Big/ \ln\frac{b_k l_k}{b_0 l_0} \tag{5}$$

где b_0, l_0, и b_k, l_k - соответственно начальные и конечные значения ширины и длины образца; наименьшее значение коэффициента анизотропии $r=0,5$. Для удобства центр распределения случайной величины W выберем равным $W_*=12$. Тогда среднее значение корректирующего фактора $C=110$.

Зададимся некоторым значением W и построим на плоскости в координатах(δ , r) область D, соответствующую физике задачи и уравнению:

$$r = \frac{W}{110\left(\delta^2 - 0.5\delta^3\right)} \tag{6}$$

Функцию распределения случайной величины W определим с помощью двойного интеграла по области D (рис. 1):

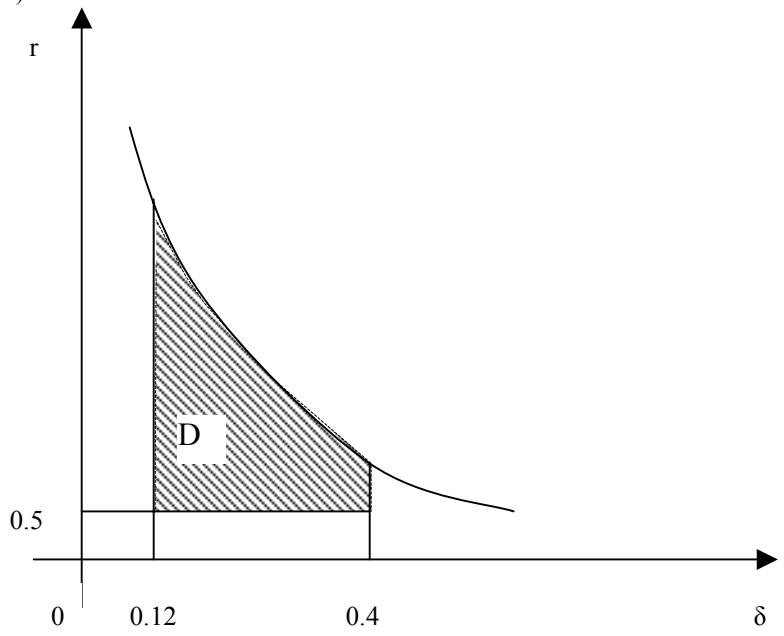


Рис.1

$$G(W) = \int_{0.12}^{0.40} d\delta \int_{0.5}^{\frac{W}{110\left(\delta^2 - 0.5\delta^3\right)}} f(\delta, r)dr\,. \tag{7}$$

Соответственно плотность вероятности для W равна производной от функции распределения (7) по переменной W [6]:

$$g(w) = \frac{1}{87.7}\int_{0.12}^{0.40} \frac{1}{\delta^2 - 0.5\delta^3} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\left(W-110\left(\delta^2-0.5\delta^3\right)m_r\right)^2}{12100\delta_r^2\left(\delta 2-0.5\delta^3\right)} + \frac{(\delta - m\delta)^2}{\sigma_\delta^2}\right]} d\delta \tag{8}$$

Как показали расчеты, применение теоремы о среднем при оценке интеграла дает удовлетворительное приближение для плотности вероятности в виде:

$$g(w) = \frac{1}{313\left(m_\delta^2 - 0.5m_\delta^3\right)} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\left(W-110\left(m_\delta^2-0.5m_\delta^3\right)m_r\right)^2}{12100\sigma_r^2\left(m_\delta^2-0.5m_\delta^3\right)^2}\right]} \tag{9}$$

Окончательно искомый закон распределения показателя штампуемости запишется как:

$$g(w) = 0.229e^{-\frac{(W-m_w)^2}{2\sigma_w^2}}$$

Здесь оценки параметров распределения равны:

m_w=11, σ_w=1,74.

Как видно из соотношения (1), показатель штампуемости учитывает как механические характеристики, так и показатели его тонкой структуры. Наличие закона распределения этого показателя позволяет достоверно оценить и спрогнозировать поведение металла в процессе штамповки стального листа. В частности, укажем интервал (6÷16) , в который попадают практически все значения показателя штампуемости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Узлов И.Г., Гешелин В.П. и др. Эффективные показатели штампуемости тонколистового проката стали // Сталь.- 1983.- №9.
2. Востриков А.А., Гайдук В.В., Аркулис Г.Э. Новый показатель штампуемости металла автолиста Сталь.- 1982.-№1.- С.67.
3. Нагорна І.Ю, Міщенко В. Г. Розробка синтетичного показника штампуемості // Збірник наукових праць ЗДТУ.- Запоріжжя: ЗДТУ, 1999.- С. 184
4. Михель К.Х., Моцек Х.М., Шмидт В. Упрочнение тонкого листа из нержавеющей стали /Пер с нем/ Черные металлы.- 1976.- №1.- С 13.
5. Микляев П.Г., Фридман Я.Б. Анизотропия механических свойств металлов.- М.: Металлургия, 1986.
6. Крайников А.В. Вероятностные методы в вычислительной технике. М.:Высшая школа,1986.