

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРОЧНЯЕМОСТИ МАТЕРИАЛА ПО МЕТОДУ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТКЛИКОВ

Целью данной работы является установление зависимости $H_{\mu} = f(\Psi, \sigma_{0,2})$ или $H_{\mu} = f(f, HV)$. Для исследования приведенных зависимостей использовался 2^2 факторный план эксперимента с четырьмя точками в центре для проверки адекватности модели первой степени. Для исследования модели второй степени добавились четыре звездные точки.

В качестве образцов применялись цилиндрические образцы для сжатия с размерами $\varnothing 20 \times 30$. Для большего приближения эксперимента к действительности не преследовалась цель обеспечения одноосного напряженного состояния путем уменьшения трения на торцах, кроме того, это дало возможность выбрать сечение с подходящей степенью деформации.

В эксперименте использовались стали В10 (0,5 % С) и СR0861 (0,35% С, 0,7% Мп, 1,4% Сr, 1,4% Ni, 0,2% Мо). Для контрольных опытов использовалась сталь (0,4%С, 1,3%Mr).

В качестве характеристики деформации принята аддитивная

деформация ($\Psi = \ln F_0/F$), где F_0 — исходная площадь образца; F — текущая площадь образца. Условный предел текучести определялся по формуле

$$\sigma_{0,2} = 0,457 \cdot P_{0,5}^{1,384}, \quad (1)$$

где $P_{0,5}$ — сила выдавливания, приходящаяся на 0,5 мм длины диагонали при определении твердости по Виккерсу. Контроль показал, что ошибка не превышает 6%.

Образцы деформировались на гидравлическом прессе 100 т с регистрацией усилий и величины осадки образца электрическими датчиками силы и пути соответственно.

Для исследования были выбраны 6 моделей. На основе дисперсионного анализа из них были выбраны три для сравнительной проверки

$$y^I = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 x_2; \quad (2)$$

$$y^{II} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{11} x_1^2; \quad (3)$$

$$y^{III} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{22} x_2^2; \quad (4)$$

где y - полученное значение твердости из эксперимента по логарифмической шкале; b_0, b_1, b_2, b_{12} - оценки параметров, подлежащих определению; x_1, x_2 - логарифмические формы величины Ψ и $\sigma_{0,2}$.

Формулы трансформации, использованные для приведения параметров к кодированному выводу, имеют следующую структуру:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= 2,166 \ln \Psi + 3,903 ; \\ x_2 &= 3,013 \ln \sigma_{0,2} - 13,127 ; \\ x_2 &= 3,392 \ln HV - 19,661 . \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

После расчета коэффициентов для приведенных моделей мы имеем

$$y^I = 5,9124 + 0,0168x_1 + 0,1616x_2 - 0,03x_1^2 - 0,005x_1x_2 \pm 0,0923 ; \quad (6)$$

$$y^{II} = 5,9124 + 0,0168x_1 + 0,1616x_2 - 0,03x_1^2 \pm 0,077 ; \quad (7)$$

$$y^{III} = 5,8885 + 0,0168x_1 + 0,1616x_2 + 0,006x_2^2 \pm 0,0845 . \quad (8)$$

Для проверки полученных зависимостей выбрано 6 случайных условий деформации, при которых проведены опыты. Условия опыта и результаты приведены в табл. 1. Там же приведены расчетные величины, рассчитанные соответственно по I, II и III моделям и соответствующие 95%-ным доверительным интервалам.

Как следует из табл. 1, результаты, вычисленные по разным моделям, отличаются незначительно. Поэтому для практического применения можно рекомендовать III модель, как наиболее удобную при расчетах.

Заменяя в уравнении (7) x_1 и x_2 с Ψ и $\sigma_{0,2}$ с использованием формулы трансформации, получаем

$$\ln H_\mu = 4,8675 + 0,0363 \ln \Psi + 0,0123 \ln \sigma_{0,2} + 0,0545 (\ln \sigma_{0,2})^2 \pm 0,085 . \quad (9)$$

В случае, если $\sigma_{0,2}$ неизвестна, можно применять эквивалентную зависимость, базирующуюся на твердости по Виккерсу нагрузкой 50 кг вида

$$\ln H_\mu = 5,096 + 0,0363 \ln \Psi - 0,2519 \ln HV + 0,069 (\ln HV)^2 \pm 0,085 . \quad (10)$$

Таблица 1. Результаты проверочных опытов (сжатие)

ψ	$\sigma_{0,2}$, кг/мм ²	H_{μ} , кг/мм ²	ΔI H_{μ}		ΔII H_{μ}		ΔIII H_{μ}	
			ре- зультат опы- тов на сжа- тие	95% до- веритель- ный интервал	ре- зультат опы- тов на сжа- тие	95% до- веритель- ный интер- вал	ре- зультат опы- тов на сжа- тие	95% до- ве- ритель- ный интер- вал
0,12*	97,0	414	405	368-442	401	371-433	398	366-433
0,12*	62,8	345	325	297-356	324	300-350	323	296-351
0,12*	56,5	318	311	284-341	308	285-333	307	282-334
0,22	67,8	326	346	316-380	345	320-373	341	313-371
0,15	102,3	447	420	383-461	418	388-452	411	378-448
0,095	83,3	381	360	329-395	358	332-387	365	336-398

* (B10), остальные CPO861.

Анализ зависимостей (8) и (9) показал, что подавляющее влияние на $\ln H_{\mu}$ оказывает исходное состояние материала. Но так как в процессе деформации $\sigma_{0,2} = \text{const}$, то характер изменения H_{μ} определяется степенью деформации ψ . При этом характерно, что сначала, примерно до $\psi = 0,18$, происходит более интенсивное упрочнение, а затем менее интенсивное. Это согласуется с результатами других работ в этой области.