

Рис.1. Изменения ширины линии (211) β по глубине h , $\mu\text{м}$ шлифованного слоя стали 40X (1) и 30Xгс (2).

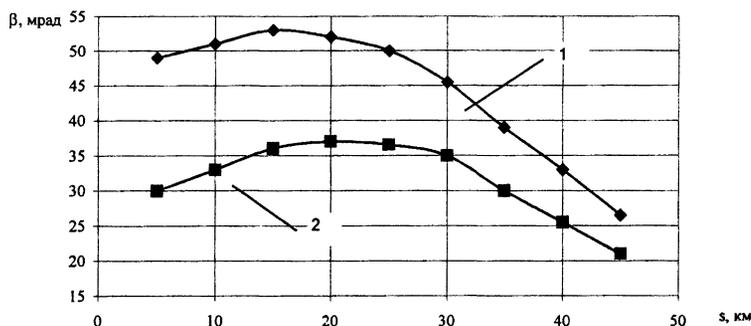


Рис.2.Изменения ширины линии (211) β при износных испытаниях стали 40X на глубине 2,0 $\mu\text{м}$ (1) и 5,0 $\mu\text{м}$ (2).

УДК 531.43/46+539.388.1 \Rightarrow 539.43

В.А. Жмайлик

КОМПЛЕКСНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПО КРИТЕРИЯМ МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ И ПЛАСТИЧНОСТИ

ПО ГОМСЕЛЬМАШ
Гомель, Беларусь

Статистические показатели качества, разработанные ранее [1], оказались весьма эффективными [2 - 5] и поэтому методы их оценки были доведены до стандартного исполнения [6]. Ниже обсуждается задача построения системы дифференциальных (единичных) и комплексных (групповых, интегральных) показателей, которая обеспечивает количественную оценку качества не только по одному (любому) механическому свойству, но и по определенному сочетанию таких свойств.

Показатель качества $\Pi(x_i)$ по данной характеристике x_i свойств определяется как вероятность того, что случайные значения x_{ij} не выйдут за нижнюю границу $x_{ij}^{\text{ГОСТ}}$, определяемую каким-либо нормативным документом (техническими условиями, стандар-

том и т.п.). Если случайная величина x_{ij} подчиняется закону распределения $\varphi(x_{ij})$, то показатель качества по данному свойству x_i будет

$$P(x_{ij}) = P(x_{ij} > x_{ij}^{гост}) = \int_{x_{ij}^{гост}}^{\infty} \varphi(x_{ij}) dx_{ij}, \quad (1)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, n$ – индекс, указывающий характеристику механических свойств (например, $x_1 = \sigma_T$, $x_2 = \sigma_b$ и т.д.), а $j = 1, 2, 3, \dots, m$ – индекс, определяющий вариационный ряд из m случайных значений данной характеристики.

Величина $P(x)$ изменяется в интервале (0; 1). Если $P(x) = 1,0$, то качество по данной характеристике свойств «идеальное», а если $P(x) = 0$, то оно «предельно плохое», или заведомо неприемлемое. В технических приложениях обычно

$$0 < P(x) << 0,5. \quad (2)$$

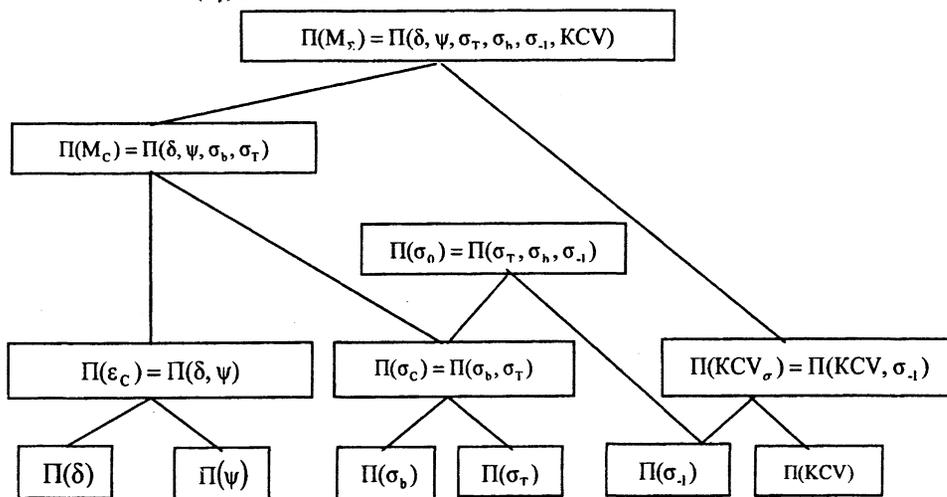
В стандарте [6] для интервала (2) установлены нормативные значения показателей (1), определяющие 3 (I, II, III) категории качества.

Иерархическая структура показателей качества по механическим свойствам представлена на рис. 1.

Из большого многообразия характеристик механических свойств (более двух десятков) для оценки качества отбираются лишь необходимые и достаточные (основные) свойства: $x_1 = \sigma_T$ – предел текучести, $x_2 = \sigma_b$ – предел прочности, $x_3 = \delta$, $x_4 = \psi$ – относительные удлинение и сужение, $x_5 = \sigma_{-1}$ – предел выносливости, $x_6 = KCV$ – ударная вязкость, так что в формуле (1) $i = 1, 2, \dots, 6 = n$. Эти характеристики необходимы, так как являются браковочными признаками при поставке сталей, например, в соответствии с техническими условиями. Они достаточны в общем случае, так как, взятые в совокупности, характеризуют сопротивление материала (и изделий, из него изготовленных) статическим, циклическим и ударным нагрузкам.

Рис. 1. Пятиуровневая структура показателей качества по основным характеристикам механических свойств

Показатели $P(x_i)$, $i = 1, 2, \dots, 6$ называют единичными, или отдельными, так как



они описывают качество стали по отдельно взятым характеристикам механических свойств.

Отдельные характеристики механических свойств σ_T , σ_b , δ , ψ , σ_{-1} , KCV можно рассматривать как систему случайных величин, распределение каждой из которых подчиняется определенному (но единому для всех характеристик) закону. Тогда объединение этих случайных величин в n -мерном пространстве выборок позволяет вы-

числить плотность вероятностей для системы n случайных величин и, следовательно, комплексный («суммарный») показатель качества по всем основным характеристикам механических свойств, определяемых при статическом, циклическом и динамическом нагружении:

$$\begin{aligned} \Pi(M_{\Sigma}) &= P(\sigma_T > \sigma_T^{ГОСТ}, \sigma_b > \sigma_b^{ГОСТ}, \sigma_{-1} > \sigma_{-1}^{ГОСТ}, \delta > \delta^{ГОСТ}, \psi > \psi^{ГОСТ}, KCV > KCV^{ГОСТ}) = \\ &= \int_{x_i > x_i^{ГОСТ}} \dots \int \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n) dx_1 dx_2 \dots dx_n. \end{aligned} \quad (3)$$

В зависимости от целей конкретного исследования можно построить и групповые показатели качества. Так, для оценки качества материала только по характеристикам пластичности вводится показатель $\Pi(\varepsilon_c) = \Pi(\delta, \psi)$, а по характеристикам статической прочности – показатель $\Pi(\sigma_c) = \Pi(\sigma_T, \sigma_b)$.

Показатель $\Pi(KCV_{\sigma}) = \Pi(\sigma_{-1}, KCV)$ оценивает качество материала по сопротивлению циклическим и ударным нагрузкам, а показатель $\Pi(\sigma_0) = \Pi(\sigma_T, \sigma_b, \sigma_{-1})$ – по характеристикам сопротивления статическим и повторно-переменным нагрузкам. Наконец, показатель $\Pi(M_c) = \Pi(\sigma_T, \sigma_b, \delta, \psi)$ характеризует качество по свойствам прочности и пластичности в условиях статического нагружения. Таким образом, формируется пять иерархических уровней показателей качества (см. рис.1) – соответственно по одной, двум, трем, четырем и шести основным характеристикам механических свойств.

Расчет любого из показателей, представленных на рис.1, ведется по единой процедуре (3). Так, например, если принимается, что случайные величины σ_T и σ_b подчиняются нормальному распределению, имеем показатель

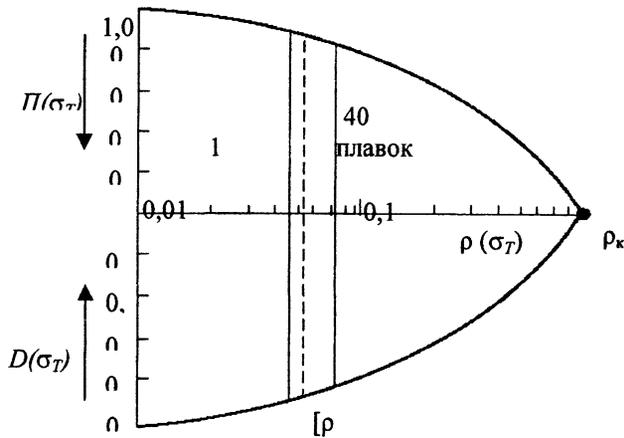
$$\begin{aligned} \Pi(\sigma_T, \sigma_b) &= P(\sigma_T > \sigma_T^{ГОСТ}, \sigma_b > \sigma_b^{ГОСТ}) = \int_{x_i > x_i^{ГОСТ}} \dots \int \frac{1}{2\pi(1-k)^{1/2} S_{x_1} S_{x_2}} \times \\ &\times \exp\left\{-\frac{1}{2(1-k)^2} \left[\frac{(x_1 - \bar{x}_1)^2}{S_{x_1}^2} - \frac{2k(x_1 - \bar{x}_1)(x_2 - \bar{x}_2)}{S_{x_1}^2 S_{x_2}^2} + \frac{(x_2 - \bar{x}_2)^2}{S_{x_2}^2} \right]\right\} dx_1 dx_2, \end{aligned} \quad (4)$$

где $i = 1, 2$; $x_1 = \sigma_T$, $x_2 = \sigma_b$; k – коэффициент корреляции между пределами текучести и прочности. Таким образом, показатель (4) определяют с учетом взаимосвязи обоих предельных напряжений, что является принципиально важным: естественно и корректно принимается во внимание значимость («вес») той или иной характеристики. Это имеет особенно важное значение, когда вычисляют интегральный показатель $\Pi(M_{\Sigma})$ либо групповые показатели $\Pi(M_c)$, $\Pi(\sigma_0)$ и др. (см. рис.1).

В заключение приведем пример использования статистических показателей качества для сравнительной оценки трех марок конструкционной стали.

Выполнено экспериментальное исследование качества по пределу текучести конструкционной стали трех марок, применяемых для изготовления элементов силовых систем ответственного назначения: 40X и 40XH (после улучшения, диаметр заготовок соответственно 80 и 100 мм) и 18XГТ (после нормализации, диаметр заготовок 80 мм). На растяжение испытывали по 200 образцов каждой марки стали, при этом первые 100 образцов вырезали из заготовок одной плавки, а последующие 100 образцов были вырезаны из заготовок сорока различных плавок. Параметры распределения пределов текучести (среднее значение $\bar{\sigma}_T$ и среднеквадратическое отклонение $S_{\bar{\sigma}_T}$) даны в таблице;

там же приведены показатели качества, риска и безопасности, оцененные по методике, изложенной в работах [1 - 5]. Как видно, качество исследованной стали 40XH не вызывает сомнений. А сталь 40X ведет себя иначе: если качество одной плавки было безусловно обеспеченным, то для многих плавок оказалось, что $\Pi(\sigma_T) = 0,953$, т.е. качество



удовлетворяет лишь требованиям второй категории согласно требованиям стандарта [6]. Что касается стали 18ХГТ, то риск ее применения и вовсе велик: одна плавка имеет показатель $\rho(\sigma_T) = 0,046 < [\rho] = 0,0526$, тогда как 40 плавков дают $\rho(\sigma_T) = 0,073 > [\rho]$ (рис.2); здесь $[\rho]$ - нормативный риск [6].

Таблица

Параметры	40Х		40ХН		18ХГТ	
	40 плавков	1 плавка	40 плавков	1 плавка	40 плавков	1 плавка
$\overline{\sigma_T}$	580	568	730	706	480	465
S_{σ_T}	48,9	24,4	40,3	27,2	34,5	20,5
$P(\sigma_T)$	0,953	1	1	1	0,921	0,956
$\rho(\sigma_T)$	0,049	0	0	0	0,073	0,046

Рис.2. Оперативная характеристика качества и риска применения стали 18ХГТ по пределу текучести

Таким образом, применение исследованной стали 18ХГТ для изготовления изделий ответственного назначения не может быть допущено, поскольку не обеспечивается требуемая эксплуатационная безопасность ($R_p = 0,927 < 0,947$). Задача, следовательно, состоит в том, чтобы установить причины снижения качества крупных заготовок этой стали по одной из важнейших характеристик механических свойств – по пределу текучести и принять соответствующие меры по их устранению.

Литература. 1. Жмайлик В. А., Подобедов В.Н., Сосновский Л. А. Качество материалов и силовых систем / Трибофатика 96/97. Ежегодник. – Вып. 1. – Гомель: НПО «ТРИБОФАТИКА», 1998. – 164 с. 2. Сосновский Л. А., Жмайлик В. А. Показатель качества материалов по механическим свойствам и его применение // Заводская лаборатория. – 1999. – № 3. – С. 36–40. 3. Жмайлик В. А. К оценке качества силовых систем по критериям сопротивления износоусталостным повреждениям // Заводская лаборатория. – 1999. – № 4. – С. 55-58. 4. Zhmajlik V. A. Evaluation of quality and risk of application of materials and active systems // Proc. of III Intern. Symp. on Tribo-Fatigue (ISTF'2000, 22-26 Oct. 2000, Beijing, China.) – Hunan University Press, China, 2000, p. 389-394. 5. Жмайлик В.А. Прочностные аспекты оценки и нормирования качества силовых систем: Автореф. дис. к-та техн. наук: 01.02.06 / ГГТУ им. П.О.Сухого. –Гомель, 2002. –20 с. 6. СТБ 1234-2000. Трибофатика. Системы силовые. Статистические показатели качества. -Минск: ГОССТАНДАРТ, 2000. –24 с.