

## Математическое моделирование процесса выбора материалов для деталей машин

В.В. ПЕРЕМИТЬКО, Ю.И. РЕЙДЕРМАН, Е.А. ЧЕРЕДНИК, А.Г. ОКУНЬ

Предложен расчетный метод выбора материалов для деталей машин, основанный на сопоставлении физико-механических и других свойств конструкционных материалов с необходимыми свойствами для материала конкретной детали. Пригодность оценивается с помощью комплексного критерия и функции желательности.

Запропоновано розрахунковий метод вибору матеріалів для деталей машин, що ґрунтується на співставленні фізико-механічних та інших властивостей конструкційних матеріалів з необхідними властивостями для матеріалу конкретної деталі. Придатність оцінюється за допомогою комплексного критерію та функції бажаності.

The calculated method of material choice for machine parts on the base of comparison of physical-mechanical and other properties of constructional materials with demanded properties from material of concrete part has been offered. Suitability is estimated by means of complex criterion and desired function.

При расчете и конструировании любых деталей обязательным этапом является выбор материала. Обычно материал выбирают, основываясь на зарекомендованных себя его марках, или путём логических рассуждений, базирующихся на неких принципах выбора [1,2].

На наш взгляд, пригодность различных материалов для деталей конкретного назначения должна оцениваться путем сопоставления количественного уровня имеющихся показателей таких материалов (технологических, физико-механических, экономических) с требующимся уровнем этих же показателей, задаваемых конструктором на основе экономических соображений, предполагаемого способа изготовления детали, условий ее эксплуатации. При таком подходе к проблеме выбора материалов можно предположить, что задача оценки пригодности аналогична задаче оценки качества промышленной продукции, когда имеющиеся показатели качества некоторого объекта сопоставляются с аналогичными нормативными показателями. Следовательно, для выбора материалов можно использовать научно обоснованные математические методы квалиметрии – науки, занимающейся количественной оценкой качества продукции.

Один из таких хорошо зарекомендовавших себя математических приемов и положен нами в основу предполагаемого метода выбора материалов. Речь идет о вычислении комплексного критерия с помощью обобщенной функции желательности [3,4]:

$$K = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n Z_i^{\alpha_i}} \tag{1}$$

где  $K$  – обобщенный критерий всей совокупности единичных показателей материала, который можно назвать комплексным критерием, критерием пригодности;  $n$  – число единичных показателей материала;  $Z_i$  – значения частных функций, определяемые по зависимостям

$$Z_i = \exp(-\exp(-y_i' b)) \tag{2}$$

- для показателей с односторонним ограничением,

$$Z_i = \exp(-\exp(1 - y_i' b)) \tag{3}$$

- для показателей с двусторонним ограничением;  $\alpha_i$  – весомость единичных показателей.

$$\alpha_i = \frac{1}{r_i} / \sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i} \tag{4}$$

где  $y_i'$  – безразмерное значение единичного показателя;  $b$  – некоторое положительное число;  $r_i$  – ранг показателя (место по важности в натуральном ряду единичных показателей).

Перевод натуральных (абсолютных) значений показателей с односторонним ограничением в безразмерную форму осуществляется по аппроксимационной линейной зависимости

$$y_i' = 1,53(y_i - y_{i\delta\delta\delta}) / (\delta_{\delta\delta\delta} - y_{i\delta\delta\delta}) \tag{5}$$

для показателя, увеличение которого желательно, или по формуле

$$y_i' = 1,53(y_{i\delta\delta\delta} - y_i) / (\delta_{\delta\delta\delta} - y_{i\delta\delta\delta}) \tag{6}$$

для показателя, уменьшение которого желательно. Здесь  $\delta_{\delta\delta\delta}$  – натуральное значение имеющегося показателя,  $\delta_{\delta\delta\delta}$  – худшее натуральное значение требующегося показателя, соответствует  $Z = 0,37$ ;  $\delta_{\delta\delta\delta}$  – лучшее значение (натуральное) требующегося показателя (соответствует  $Z = 0,80$ )

Перевод натуральных значений показателей с двусторонним ограничением в безразмерную форму осуществляется с помощью простой зависимости

$$y_i' = 2y_i(y_{i\max} + y_{i\min}) / (\delta_{\max} + y_{i\min}) \tag{7}$$

В группе материалов, пригодность которых анализируется, наиболее пригодным будет материал с наивысшим значением комплексного критерия пригодности (при условии, что это значение больше 0,5).

Использование предполагаемой методики проиллюстрируем на примере, который упрощен с целью сокращения объема статьи.

Пусть требуется выбрать лучший по комплексу показателей материал из шести марок улучшенных сталей (таблица 1), для изготовления некоторых гипотетических деталей, материал которых должен обладать следующими показателями:  $y_1$  – предел текучести,  $y_2$  – относительное удлинение,  $y_3$  – относительное сужение,

$y_4$  – ударная вязкость,  $y_5$  – прокаливаемость,  $y_6$  – стоимость,  $\sigma_{0,2} = 750...850$  МПа;  $\delta = 10...20$  %;  $\varphi = 40...55$  %;  $a_1 = 600...800$  кДж/м<sup>2</sup>; 30...40 мм;  $C = 2500...10000$  грн/т.

Таблица 1. Показатели сталей, пригодность которых анализируется.

| Марка стали | $y_1$ | $y_2$ | $y_3$ | $y_4$ | $y_5$  | $y_6$   |
|-------------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| 40Х         | 800   | 10    | 45    | 600   | 25-30  | 116-134 |
| 40ХФА       | 750   | 10    | 50    | 900   | 25-30  | 144-163 |
| 40ХГТР      | 800   | 11    | 45    | 800   | 50-75  | 122-153 |
| 30ХГС       | 850   | 10    | 45    | 450   | 50-75  | 122-153 |
| 40ХН        | 800   | 11    | 45    | 700   | 50-75  | 168-185 |
| 30ХНЗА      | 800   | 10    | 50    | 800   | 75-100 | 241-266 |

Таблица 2. Сводная таблица результатов вычислений.

| Марка стали | $y'_1$ | $z_1$ | $y'_2$ | $z_2$ | $y'_3$ | $z_3$ | $y'_4$ | $z_4$ | $y'_5$ | $z_5$ | $y'_6$ | $z_6$ | $K$   |
|-------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
| 40Х         | 0,765  | 0,628 | 0      | 0,370 | 0,510  | 0,548 | 0      | 0,370 | -0,765 | 0,116 | 1,830  | 0,736 | 0,398 |
| 40ХФА       | 0      | 0,370 | 0      | 0,370 | 1,020  | 0,697 | 2,295  | 0,904 | -0,765 | 0,116 | 0,887  | 0,662 | 0,433 |
| 40ХГТР      | 0,765  | 0,628 | 0,153  | 0,424 | 0,510  | 0,548 | 1,530  | 0,800 | 3,060  | 0,954 | 0,989  | 0,689 | 0,651 |
| 30ХГС       | 1,530  | 0,800 | 0      | 0,370 | 0,510  | 0,548 | -1,147 | 0,042 | 3,060  | 0,954 | 0,989  | 0,689 | 0,406 |
| 40ХН        | 0,765  | 0,628 | 0,153  | 0,424 | 0,510  | 0,548 | 0,765  | 0,628 | 3,060  | 0,954 | 0,668  | 0,597 | 0,611 |
| 30ХНЗА      | 0,765  | 0,628 | 0      | 0,370 | 1,020  | 0,697 | 1,530  | 0,800 | 6,885  | 0,998 | -0,163 | 0,308 | 0,574 |

Рассмотрим еще один пример, в котором покажем, как использовать предложенную методику для оценки соответствия наплавленного металла требованиям износостойкости по данным его химического анализа. Пусть задано ([6], 130), что после наплавки стали 25ХМФ должно быть обеспечено процентное содержание  $C = 0,23-0,29$ ,  $Mn = 0,40-0,70$ ,  $Cr = 1,50-1,80$ . При этом должно быть  $\sigma_s = 890$  МПа,  $\sigma_t = 790$  МПа,  $\delta = 19\%$ ,  $\psi = 50\%$ ,  $a_k = 1,1$  Дж/см<sup>2</sup>, HB229. При этом известно, что с повышением содержания всех элементов, кроме хрома, износостойкости растёт. По хрому повышение износостойкости отмечается до 8% ([6], 17), т.е. для всех элементов приведенные крайние значения есть соответственно худшими (меньшее–левое), а лучшими – большие–правые. Все показатели относятся к показателям с односторонним ограничением, а хром – показатель с двусторонним ограничением. Для анализа представлены фактически полученные данные  $C = 0,25$ ,  $Mn = 0,30$ ,  $Cr = 1,50$ . При этом должно быть 700 МПа, 600 МПа, 14%, 40%, 1,10 Дж.см<sup>2</sup>, HB200. Нами был разработан алгоритм расчета, программно реализованный на языке Borland Turbo Pascal. С помощью конвертера получили исходник на MidletPascal, из которого компилировали рабочую программу на языке Java-2, которую установили на мобильном телефоне. Таким образом, упростили процесс расчета, приблизив его к рабочему месту лаборанта-исследователя. После оценки каждого элемента найдем приведенный оценочный коэффициент 0,6, т.е. можно сделать вывод, что наплавленный металл не отвечает заданным требованиям и должен быть забракован.

Примечание: Если справочное значение имеющегося показателя указано в некоторых пределах, то в расчет следует вводить нижнее предельное значение для показателя, увеличение которого желательно.

Эти показатели имеют односторонние ограничения, причем худшему из значений показателя соответствует  $y_{i\delta\delta\delta}$ , а лучшему –  $y_{i\delta\delta\delta}$ . Для показателей  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$ ,  $y_4$ ,  $y_5$  желательно увеличение значения, а для показателя  $y_6$  – уменьшение. Результаты вычислений представлены в сводной таблице (таблица 2), откуда видно, что наибольшее значение комплексного критерия пригодности и, следовательно, наибольшие соответствие требуемым показателям имеет сталь марки 40ХГТР.

## Выводы

1. Предложен расчетный метод выбора материалов для деталей машин по величине комплексного критерия пригодности, вычисляемого с помощью функции желательности.
2. Задача выбора материалов по предлагаемой методике легко поддается решению на компьютере, что позволит сравнивать между собой неограниченное количество материалов при любой номенклатуре показателей.
3. Широкому распространению метода должно способствовать установление четкой номенклатуры и величины показателей, выдвигаемых к материалу различных деталей, а также создание справочников, содержащих важнейшие показатели промышленных материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Геллер Ю.А. Рахштадт Л.Г. Материаловедение.–М.: Металлургия, 1975. – 245 с.
2. Siha F./Racionalni volba oceli pro strojniscoucasti a pro svarovane konstrukce. Strojizestvi.1982, 32, № 6–7.
3. Harrington E., The Desirability Function. Industrial Quality Control. 1965, 21, № 10.
4. Барховецкий М.М. Количественное измерение качества продукции в текстильной промышленности. М.- Легкая индустрия, 1975. – 124 с.
5. Лахтин Ю.М. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1980. – 259 с.
6. Лейначук Е.Е. Электродуговая наплавка деталей.–К.: Наукова думка, 1984.–158с.

