

УДК 621.01

Выбор материалов и упрочняющих технологий в машиностроении

Манаев Олег Иванович

manaevoi@mail.ru

Шевченко Светлана Юрьевна

shevchenko@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрено развитие метода выбора материалов и упрочняющих технологий в машиностроении. Показаны основные факторы, оказавшие влияние на метод. Изложена формализованная система выбора материалов и упрочняющих технологий на основе принципа соответствия материала назначению и условиям работы.

Ключевые слова: материалы, условия работы, требования к материалам, цифровая модель, электронные базы данных, целевая функция, список конкурирующих материалов

Method for the selection of materials and reinforcing technologies (SMRT) in mechanical engineering

Manayev Oleg Ivanovich

manaev_oi7@mail.ru

Shevchenko Svetlana Yurievna

shevchenko@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The development of method for the selection of materials and reinforcing technologies (SMRT) in mechanical engineering is considered. The main factors influencing the development of SMRT method are shown. A formalized system for selecting materials and reinforcing technologies for manufacturing machine-building parts based on the principle of matching the material to its intended purpose and working conditions is described.

Keywords: materials, working conditions, requirements for materials, digital model, electronic databases, objective function

Введение. В послевоенный период ускоренно развивалась отечественная промышленность. Создавались новые отрасли — космическая, атомная, микроэлектроника, газо- и нефтедобывающая. Модернизация и перевооружение шли в авиационной, судостроительной, металлургической, транспортной и других отраслях. Важной составляющей прогресса стали новые эффективные материалы и технологии. Номенклатура материалов расширялась, их классификация усложнялась.

Переход на рыночные условия в 90-х гг. расширил требования к материалам. Кроме рекордных свойств новых материалов и технологий, не менее важно оказалось распорядиться возможностями одной из самых богатых национальных коллекций материалов и технологий. Рациональный выбор

позволяет изменять прочность, надежность, долговечность деталей машин, учесть экологические аспекты в соответствии с рыночной стратегией предприятий. В рассматриваемом периоде сформировался запрос на гибкий многоцелевой системный подход к методам выбора материалов и упрочняющих технологий (ВМиУТ).

Развитие методов. Сегодня в практике машиностроения существует одновременно несколько методов ВМиУТ. Наиболее простой основан на рекомендациях по применению конкретных марок сталей, цветных сплавов, неметаллических материалов в зависимости от назначения, технологии изготовления, долговечности, условий работы деталей [1, 2]. Более сложный, классический металловедческий подход основан на анализе триады «состав — структура — свойства» материала. Обоснованность выбора материала, характеристики которого являются случайными величинами, существенно повышается применением вероятностного расчета на прочность машиностроительных материалов [1]. В новых условиях классический подход нуждался в формализации и большей доступности для широкого круга материаловедов.

В работах [3, 4] были обобщены известные к тому времени шаги по формализации выбора. Сформулирован основной принцип выбора материала и технологии упрочнения — «необходимость удовлетворения предъявляемых требований и обеспечение заданной надежности изделия во всех режимах его эксплуатации». Требования к материалу были структурированы и представлены набором характеристик материалов. Выделены в самостоятельные блоки механические, технологические, экономические, экологические свойства. Для обработки информации и выбора материала предложено использовать ЭВМ.

В работе [4] выбор рассмотрен как часть системы создания машиностроительной продукции, а анализ условий, классификация материалов и оптимизация выбора — как этапы системного выбора. Рассмотрены оптимизация технологий упрочнения, включая оборудование, системы и средства контроля продукции.

Дальнейшее развитие методология выбора получила на кафедре «Материаловедение» МГТУ им. Н.Э. Баумана [5]. Авторы определяют свой метод как системный, открывающий возможность применения математических методов — теории оптимизации, системного анализа, математического моделирования. Выбор ведется в логической схеме: «условия работы – свойства материала – характеристики свойств – анализ материалов – формирование списка альтернатив – оптимизация». Принимается положение о двух этапах процедуры выбора. На первом этапе формируется список конкурирующих материалов, отвечающих требованиям, на втором проводят оптимизацию. Поставлен вопрос о создании «проектно-расчетной модели» материала на основе требований, включающих численные значения характеристик. Для определения численных значений предложены методы математического моделирования. Рассмотрены целевые функции и методы оптимизации.

Применение электронных баз данных (БД) стало важным шагом в направлении формализации и перехода к цифровым методам выбора. Стали

возможными многопараметрический компьютерный анализ большого массива материалов, переход от поиска групп материалов по назначению к адресному поиску по численным значениям характеристик. Сократилось время поиска нужных материалов, вероятность ошибок. Базами данных материалов располагают ИМАШ им. ак. А.А. Благоднарова, ИМЕТ им. А.А. Байкова, отраслевые НИИ и крупные предприятия. Создание полноформатной отечественной БД открытого доступа, в том числе для студентов, является острой необходимой задачей.

Из зарубежных баз данных материалов известны ASMDATA, Total Materia, которые в настоящее время не доступны российским специалистам, студентам ввиду санкционных ограничений.

Результаты. Развитие методики выбора было продолжено в 2008–2025 гг. на кафедре «Материаловедение» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Был внесен ряд дополнений и уточнений, в том числе следующие:

Положение о материале как о рыночном инструменте.

Понятие о «расширенном принципе соответствия». В результате доработки принцип соответствия был сформулирован в форме методических указаний на реализацию и обеспечивается, если:

- в соответствии с назначением определены условия работы детали;
- условиям сопоставлены свойства материала, определяющие его сопротивление внешним воздействиям и установлены характеристики материала, количественно описывающие свойства;
- созданы расчетные и экспериментальные методы определения численных значений характеристик*;
- определены численно текущие (действующие) значения характеристик в материале при заданных условиях работы (внешних воздействиях)*;
- приняты методики определения и установлены предельные значения характеристик материала, с учетом выбранного способа упрочнения;
- выполняется критерий работоспособности материала в виде неравенства

$$Q_j = \psi_j(p_k) \leq R_j / [n], \quad (1)$$

где p_k — действующие значения 1, 2, ... k параметров условий работы детали; ψ_j — функция k переменных, выражающая зависимость Q_j от k параметров условий работы, вид функции определяется расчетной схемой, напряженно-деформированным состоянием, средой и полями, действующими на деталь; Q_j — действующее значение характеристики; R_j — j -я характеристика материала при выбранной технологии его упрочнения; $[n]$ — нормативный коэффициент запаса характеристики.

Положение о двух видах требований к материалу. Требования могут быть сформированы в двух видах. Первый — простой, для него выявляют свойства материала и определяющие их характеристики. Для второго вида требований характеристикам придают численные значения методами расчета,

* Для цифровой модели материала.

натурного и компьютерного моделирования, анализа отказов, экспертных оценок. В результате получают «цифровую модель» материала. Пример блока конструкционной прочности требований простого вида к материалу детали типа «вал», приведен на рисунке.



Блок конструкционной прочности требований к материалу детали типа «вал»

Поиск материалов и технологий, отвечающих требованиям простого вида, проводят по справочникам или классификатору Зоткина [4], построенным «по назначению» с учетом иерархических признаков. Для поиска материалов по требованиям цифровой модели используют электронные базы данных (БД), например в форматах Excel, Access. Результат поиска – список конкурирующих материалов (СКМ) является основой для следующего шага — оптимизации. Оптимизация предполагает применение целевой функции и выбор оптимального для этой функции материала.

Заключение. Предложен формализованный метод ВМиУТ, основанный на анализе условий работы и создании требований, в том числе в формате «цифровой модели». Подготовка СКМ, отвечающих требованиям, выполняется просмотром справочников и классификаторов, а для цифровой модели формированием запроса к БД. Выбор завершается принятием целевой функции и оптимизацией СКМ. Метод реализуется в цифровом формате и имеет высокий уровень компьютеризации.

Список источников

- [1] Решетов Д.Н. *Детали машин*. Москва, Машиностроение, 2005, 496 с.
- [2] *Марочник сталей и сплавов*. Москва, Машиностроение, 1989, 640 с.
- [3] Филлипов М.А., Бараз В.Р. *Методология выбора металлических сплавов и упрочняющих технологий в машиностроении. Т. 1. Стали и чугуны*. Екатеринбург, Издательство Уральского ун-та, 2012, 232 с.
- [4] Зоткин В.Е. *Методология выбора материалов и упрочняющих технологий в машиностроении*. Москва, ИНФРА-М, 2011, 320 с.
- [5] Третьяков В.И., Хасянов М.А. *Оптимизация выбора конструкционных материалов и способов их упрочнения*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1996, с. 25–37.