



Последние разработки для выбора и оптимизации свойств материалов

Виктор Поцайт

В статье рассмотрены функциональные возможности базы данных Total Materia с точки зрения оптимизации свойств, в том числе веса, посредством корректного выбора материалов. Кратко упоминая другие аспекты базы данных, предназначенные для сложных инженерных расчетов и моделирования, в статье описываются возможности сравнения и анализа свойств для тысяч самых разнообразных материалов.

Невозможно переоценить важность точной информации о свойствах материалов для инженерных расчетов и моделирования, таких как CAE/CAD и FEA. Обычные механические свойства, например предел текучести, предел прочности, твердость и пластичность, могут различаться более чем в десять раз для конструкционных сталей при комнатной температуре в зависимости от легирующих элементов, термообработки и изготовления. В связи с этим аппроксимация с использованием типичных значений свойств для некоторых групп сплавов может привести к серьезным ошибкам [1].

База данных свойств материалов Total Materia была разработана для того, чтобы помочь инженерам преодолеть эти сложности и снизить риски возникновения ошибок при выборе материала, а также для экономии за счет исполь-

зования более дешевых и доступных альтернативных материалов. На сегодняшний день Total Materia содержит более 20 млн записей о механических, физических и других свойствах для более чем 450 тыс. материалов со всего мира, а также инструменты для выбора и сравнения материалов и свойств. База данных применяется на различных этапах рабочего процесса проектирования и моделирования — от концептуального проектирования до моделирования формования и производства.

Примеры использования

Информацию о материалах и их свойствах можно использовать в разных инженерно-технических работах, но в качестве типичных примеров стоит выделить четыре варианта применения:

1. Детальный анализ свойств известного материала.

2. Поиск материала или нескольких материалов по требуемому набору свойств и условий.
3. Выбор лучшей альтернативы из группы материалов.
4. Концептуальное проектирование с первичным подбором материалов.

Первый вариант использования в принципе является наиболее простым и может быть легко применен в Total Materia. По марке материала пользователь может просмотреть механические, физические и другие свойства в табличном или графическом формате (рис. 1). Например, в базе данных можно легко найти плотность как один из основных факторов веса конструкции.

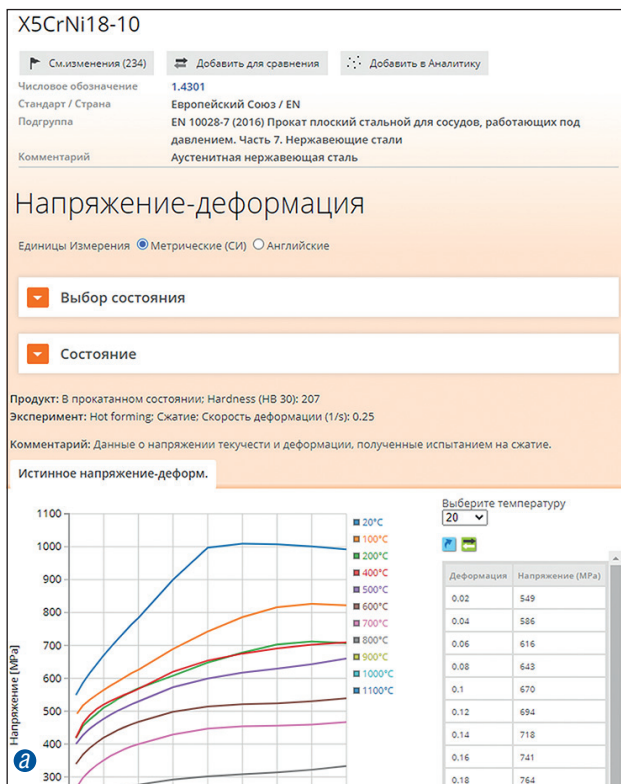
Что касается общего обзора свойств, интересным аспектом являются расширенные данные о нелинейных механических свойствах, которые обычно очень трудно найти. Для решения этой проблемы был разработан специальный раздел базы данных, содержащий кривые напряжения-деформации, данные о пластичности, циклические свойства, механику разрушения и свойства ползучести. В процессе разработки было собрано, проверено и обработано более 2200 эксперименталь-



Виктор Поцайт,
д.т.н., профессор,
Key to Metals AG, г.Цюрих
(Швейцария)

ных данных — начиная с относительно больших сборников данных и заканчивая отдельными статьями, датированными 60-ми годами прошлого века, и последними доступными экспериментами. Кроме того, была разработана запатентованная методология для обработки исходных данных, состоящая из определенного набора алгоритмов выборки, обработки и оценки данных для каждого из пяти модулей расширенных свойств [3].

Во втором варианте использования материал неизвестен, но отправной точкой являются механические и другие свойства, полученные с помощью структурных расчетов или других методов. Используя логические операторы «И» и «ИЛИ», пользователь может комбинировать требуемые значения механических и физических свойств для определения условий, ко-



Физические Свойства

Официальные | Другие Источники | Похожие материалы | Типичные

Выбор состояний продукта Просмотреть данные для всех состояний продукта

Свойство	T (°C)	Значение	Единица
Бруски; Ссылка: ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code Section II - Part D Materials Properties (Metric) Просмотреть диаграммы			
Модуль упругости	-200	209	GPa
	-125	204	GPa
	-75	201	GPa
	25	195	GPa
	100	189	GPa
	150	186	GPa
	200	183	GPa
	250	179	GPa
	300	176	GPa
	350	172	GPa
400	169	GPa	
500	160	GPa	
550	156	GPa	
600	151	GPa	
650	146	GPa	
700	140	GPa	
Средний коэффициент теплового расширения между 20(°C) и	20	15.3	10 ⁻⁶ /(°C)
	50	15.6	10 ⁻⁶ /(°C)
	75	15.9	10 ⁻⁶ /(°C)
	100	16.2	10 ⁻⁶ /(°C)

Рис. 1. Пример отображения физических свойств (а); кривые напряжения-деформации для различных скоростей деформации и температуры материала (б)

торым должны соответствовать материалы (рис. 2).

В результате предоставляется список материалов, соответствующих заданным критериям, который может включать до нескольких тысяч материалов. При необходимости этот список затем может быть перенесен в другие модули базы данных, чтобы обеспечить процесс выбора обширным набором свойств: пользователь может комбинировать критерии механических свойств при различных температурах с данными напряжения-деформации, циклическими свойствами, коррозионными свойствами и свариваемостью.

Дополнительной опцией является поддержка работ по обратному инжинирингу: в этом случае можно указать содержание некоторых легирующих элементов или полный химический состав, а затем перенести его в специализированный модуль для идентификации материала [4].

Углубленный поиск

Выбранные критерии:

(Страна/Стандарт: Европейский Союз / EN) И (Напряжение Текучести (МПа): 200 - 250) И (Предельная прочность при растяжении (МПа): 400 - 450) И (Группа материалов: ЦВЕТНЫЕ СПЛАВЫ; Тип: Алюминий ИЛИ Группа материалов: ФЕРРОСПЛАВЫ; Тип: Нержавеющая и жаропрочная сталь)

Страна/Стандарт: Европейский Союз / EN ИЛИ

Напряжение Текучести (МПа): 200 - 250 ИЛИ

Предельная прочность при растяжении (МПа): 400 - 450 ИЛИ

Группа материалов: ЦВЕТНЫЕ СПЛАВЫ; Тип: Алюминий ИЛИ

Группа материалов: ФЕРРОСПЛАВЫ; Тип: Нержавеющая и жаропрочная сталь ИЛИ

Добавить критерии поиска

всего найдено наименований: 175

1 2 3 4 5 6 7 8 9

#	МАТЕРИАЛ	СТАНДАРТ	СТРАНА / ПРОИЗВОДИТЕЛЬ	ТИП	<input type="checkbox"/>
81	EN AC-Al Cu4MnMg	EN	Европейский Союз	Металл / Алюминий	<input type="checkbox"/>
82	EN AC-Al Cu4Ti	EN	Европейский Союз	Металл / Алюминий	<input type="checkbox"/>
83	EN AW-2014	EN	Европейский Союз	Металл / Алюминий	<input type="checkbox"/>

Рис. 2. Комбинация различных критериев и требований к свойствам для поиска списка материалов



Третий вариант использования, который напрямую связан с оптимизацией веса, может либо входить в рабочий процесс после предыдущего случая, либо осуществляться неза-

висимо. Это подразумевает подбор группы материалов, а затем сравнение и анализ их свойств для поиска наиболее подходящего материала для конкретного применения.

В Total Materia материалы можно сравнивать различными способами: от целых наборов данных свойств материалов бок о бок, сравнения различных кривых и многоточечных данных до графического анализа выбранных свойств в разных измерениях. Недавно разработанный инструмент *Аналитика* особенно полезен для оптимизации веса с возможностью анализа соотношения свойств, что позволяет одномерно визуализировать значения отношения структурных свойств, таких как модуль упругости к плотности. На рис. 3а показан пример выбора оптимального материала, который обеспечит самые лучшие конструкционные характеристики при минимальном весе. Отношение структурного свойства к плотности также может быть двумерно визуализировано с помощью другого свойства, например предела текучести, как показано на рис. 3б. Кроме того, в процессе поиска группой материалов можно управлять различными способами, например уменьшать список материалов путем определения ограничений или увеличивать за счет просмотра альтернативных материалов из таблиц перекрестных ссылок аналогичных материалов.

В четвертом варианте использования, поскольку инженер-конструктор обычно начинает с «чистого листа», теоретически для конечного выбора изначально могут рассматриваться все материалы. В режиме *Material Discovery*, аналогично предыдущему случаю, происходит визуализация свойств, выбранных пользователем из базы данных Total Materia. В этом случае отображаются разбитые по основным группам материалы, например цветные металлы, сплавы на основе железа, полимеры, композиты и др.

Принципы этой визуализации похожи на график Эшби [5], с той лишь разницей, что *Material Discovery* со-

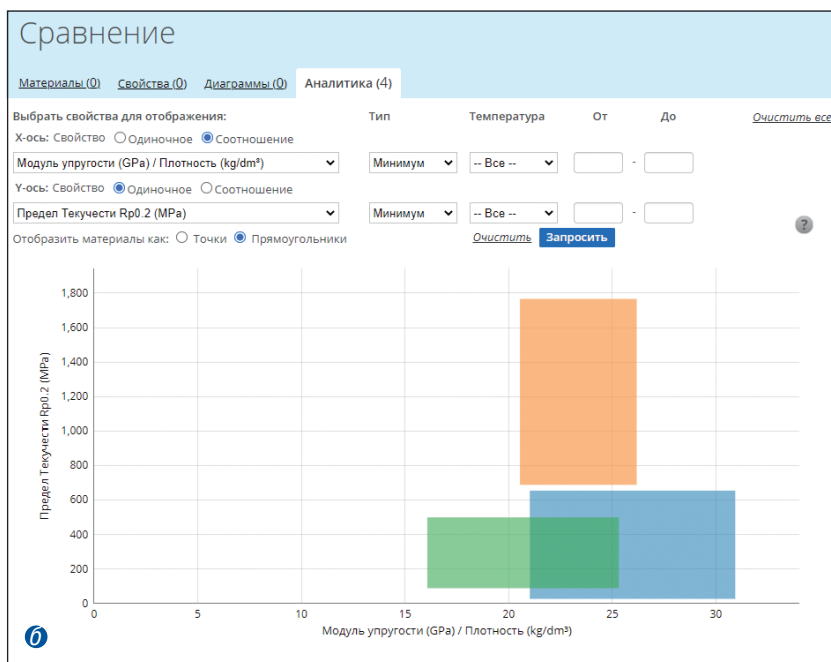
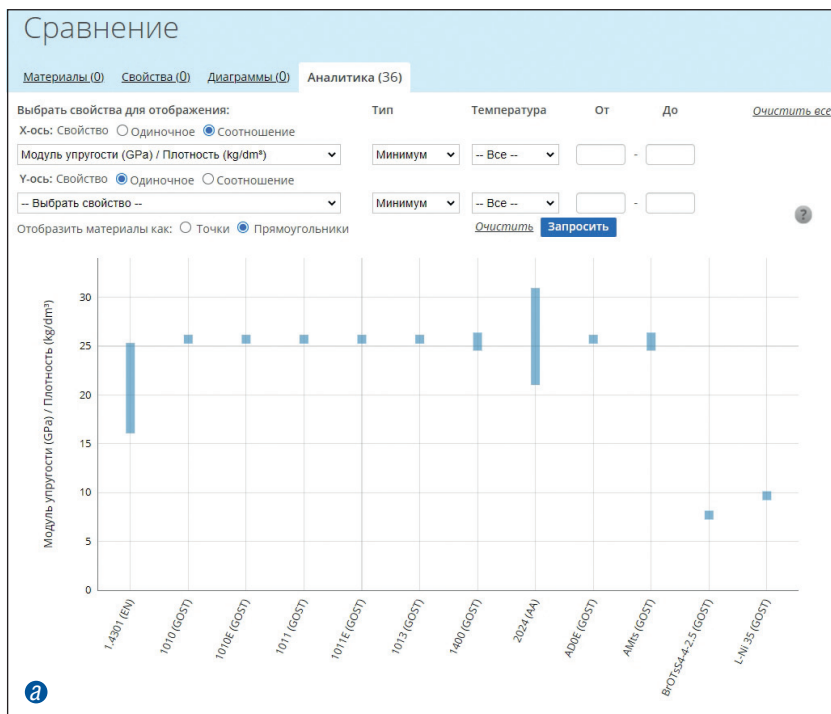


Рис. 3. Сравнение значений соотношения модуля упругости к плотности для нескольких материалов, выбранных пользователем (а); двумерное сравнение соотношения модуля упругости к плотности по одной оси и пределу текучести — по другой (б)

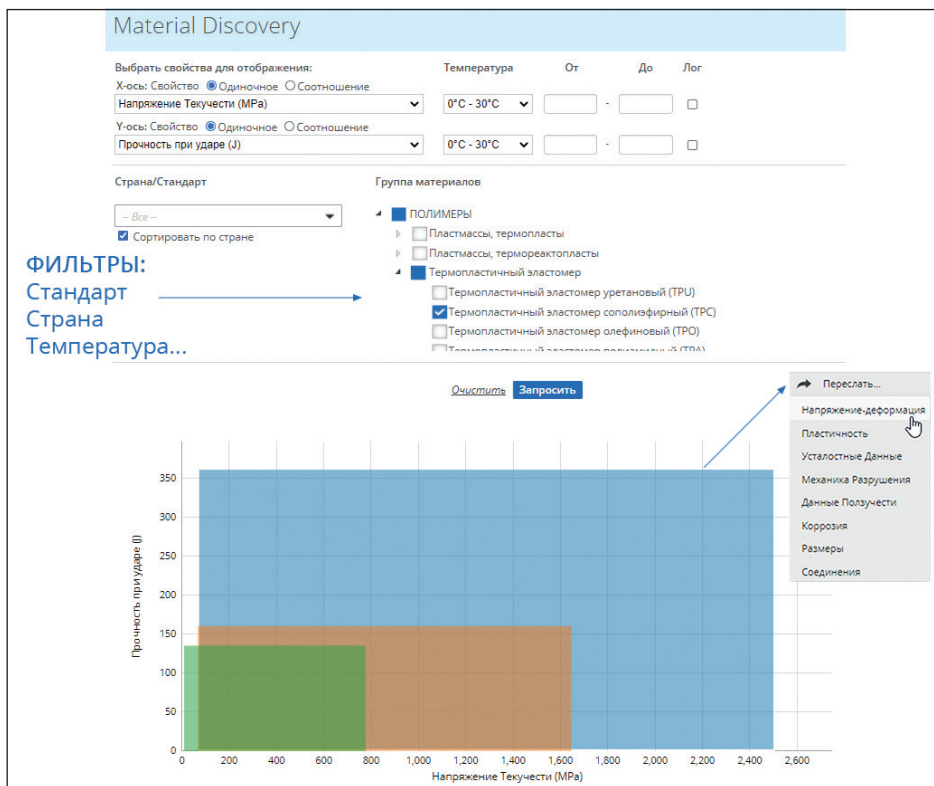


Рис. 4. Комбинация различных критериев свойств и условий для поиска подходящих материалов

держит полные наборы свойств для более чем 450 тыс. материалов и 20 млн экспериментальных и стандартизованных точек данных.

Начиная с отправного обзора, можно перейти к выбору дополнительных конкретных групп материалов, например титановых сплавов, полимеров PA 66 или определенных видов композитов, отфильтрованных по интересующей стране, или стандарту, или диапазонам температур (рис. 4). Как только список подобранных материалов уменьшается, он может быть передан в раздел *Аналитика* или другие функции сравнения для подробного анализа материалов и свойств друг с другом.

Возможности интеграции с CAE, PLM и другим инженерным ПО

В случае если надежные данные о свойствах и инструменты для выбора материалов уже доступны, имеет смысл интегрировать их с различными CAE, PLM и другим инженерным программным обеспечением. Обычно это гарантирует повышенный уровень точности используемых данных и экономит время для потенциально большой группы инженеров с разнообразными требованиями к информации.

В качестве начального шага был разработан модуль eXporter, который позволяет пользователю выбирать интересующие свойства и экспортировать

их во всевозможные форматы, такие как XML, XLS и более 20 различных форматов CAE и PLM [6].

Более прочная интеграция с системами CAE может быть достигнута с помощью API, что позволяет пользователям программировать экспорт и использовать данные и функции Total Materia в самом программном обеспечении CAE или автоматически обновлять внутреннюю базу данных программной среды CAx [7]. Еще одна интересная возможность для интеграции открылась благодаря разработчикам новой спецификации Немецкой ассоциации автомобильной индустрии VDA, в которой подробно классифицированы материалы и условия поставки [8], что обеспечивает еще более

точную передачу информации о материалах и их технических характеристиках. Структура VDA позволяет передавать информацию не только между инженерами или отделами, но и между различными компаниями в цепи поставок автомобильной индустрии, тем самым приближаясь к уровню интеграции «Индустрия 4.0».

Ссылки:

1. Радович А., Радович Н. От механики разрушения к оценке структурной целостности. Belgrade: Society for Structural Integrity and Life, 2004.
2. Vasisht Venkatesh V., Furrer D. Introduction to Data Workflows in ICMSE. UCSB Workshop on Collection and Analysis of Big Data in 3D Materials Science, 2015.
3. Поцайт В., Новак К. Новые свойства в Total Materia для моделирования в CAE. 18th Simufact Roundtable, Marburg, Germany, 2017.
4. Поцайт В. Методы и алгоритмы идентификации металлических сплавов. US Patent 8,918,290 B2, 2014.
5. M. Ashby: Materials Selection in Mechanical Design. Elsevier, 2005.
6. Key to Metals AG: eXporter. www.totalmateria.com/documents/eXporter_ru.pdf, 2017.
7. Key to Metals AG: Total Materia API для Toyota Motorsport, внутренний документ. Цюрих, 2016.
8. Specification of materials and finishes in IT systems, VDA, Bietigheim-Bissingen, 2016. ➤