



УДК 519.21

© 2009

В. И. Большаков, Ю. И. Дубров, Е. Ю. Жевтило

**Исследования работоспособности и эффективности  
эмпирического прогнозирования качественных  
характеристик стали на предпроектной стадии  
ее создания**

*(Представлено академиком НАН Украины М. И. Гасиком)*

*Викладено ідеологію синтезу спеціалізованої експертної системи, спрямованої на ідентифікацію механічних властивостей будь-якого матеріалу. Подано алгоритм синтезу цієї експертної системи та показана його програмна реалізація. Дослідження структури, марки сталі, взятої як приклад, показали працездатність та ефективність запропонованої спеціалізованої експертної системи для розв'язання чисельно незвідних задач матеріалознавства.*

Прошло почти 70 лет с тех пор, когда, по-видимому, впервые, в материаловедении была сформулирована важнейшая проблема проектирования стали с наперед заданными свойствами (см., например, [1]). В дальнейшем С. А. Салтыковым [2] было отмечено, что для решения этой проблемы "... необходимо открыть те принципы, законы и положения, которые позволят на предпроектной стадии осуществлять такое прогнозирование". Однако в то время, когда уважаемый ученый сформулировал эту мысль, еще не имелось доказательства существования в материаловедении задач, формализация которых с помощью традиционного математического аппарата представляется затруднительной, а иногда и невозможной [3, 4]. К таким задачам относится, например, задача определения механических характеристик стали, исходя из ее состава и особенностей микроструктуры, поскольку сложность идентификации ее структурных составляющих не всегда позволяет дать функциональное описание объекта исследования, а также строго определить метрику в пространстве его состояний.

Напрашивается вывод, аналогичный известной гипотезе С. Уолфрема [5]. Согласно этой гипотезе, некоторые процессы, при моделировании которых наблюдаются трудности в их

идентификации (хаотические турбулентные потоки, вихри в атмосфере, экономические системы, биологическая эволюция и т. д.), описываются только неприводимыми алгоритмами и их результаты невозможно предсказать, не выполнив их полностью.

Во многих случаях весьма привлекательным (а в некоторых случаях и единственным) способом решения задач такого рода является применение экспертных систем (ЭС), включающих алгоритмы полного перебора [6]. Другим подходом, позволяющим компенсировать невозможность полной формализации сложной задачи, являются результаты, полученные в нелинейной динамике Такенсом и приведенные в сети Internet [5].

Проводя параллель с выводами из теоремы Такенса, естественно рассмотреть в качестве инструмента для решения задачи идентификации механических свойств стали специализированные ЭС, принцип работы которых является идеологически близким к нейронным сетям. Одной из таких ЭС является специализированная многопараметрическая система [7], создание базы знаний (БЗ) которой позволяет представить ее в виде уравнений, исключающих применение машины логического вывода. Тем самым пространство состояний объекта идентификации дважды “проецируется” в пространство решений задачи: один раз — неформально (посредством экспертных оценок), а второй раз — с помощью уравнений, заменяющих БЗ. Таким образом, можно сделать вывод о том, что идентификация качественных характеристик стали возможна не только на основе традиционных методов (микроскопия, рентгеноспектральный и рентгеноструктурный анализ и др.), но и путем применения специализированных ЭС.

Для того чтобы показать это, была синтезирована специализированная ЭС [7], направленная на идентификацию механических свойств стали 35ХМ на предпроектной стадии ее создания.

Синтез данной ЭС состоит из двух этапов, реализуемых программно. Первый этап предназначен для четкой фрагментации с помощью экспертов, слабо структурированной и трудно формализуемой узкой предметной области материаловедения, а именно, для определения тренда конкретного механического свойства металла в зависимости от изменения конкретного управляющего воздействия. На этой стадии на основании анализа предыстории производства данной марки стали, экспертами производится описание ее технологии, а также постановка целей и задач моделирования (рис. 1, а). На следующей стадии проектирования производится выбор параметров, оказывающих значимое, по мнению экспертов, влияние на исследуемые характеристики данной марки стали. На данной стадии экспертам предлагается, отвечая на вопросы программы ЭС, дать необходимую информацию о допустимых численных значениях неуправляемых и управляемых переменных и возможных предельных численных значениях показателей качества (рис. 1, б). При этом в автоматическом режиме формируются уравнения, ставящие во взаимно однозначное соответствие каждый выбранный показатель качества от значений управляемых переменных, а также строятся соответствующие графики (рис. 1, в) и производится комплексный анализ, показывающий влияние управляемых переменных на характеристики исследуемого объекта (рис. 1, г).

В результате завершения первого этапа формирования специализированной ЭС получается та ее часть, которая способна предлагать и объяснять пользователю оптимальные, с его точки зрения, решения, которые он принимает, реализуя матрицу 1 [7].

Приведенные в [7] результаты экспериментов (строки 2, 7, 14 матрицы 1) показали относительную сходимость прогнозируемых значений механических свойств исследуемой стали с прямыми экспериментами. Для более доказательного ответа на вопрос о целесообразности

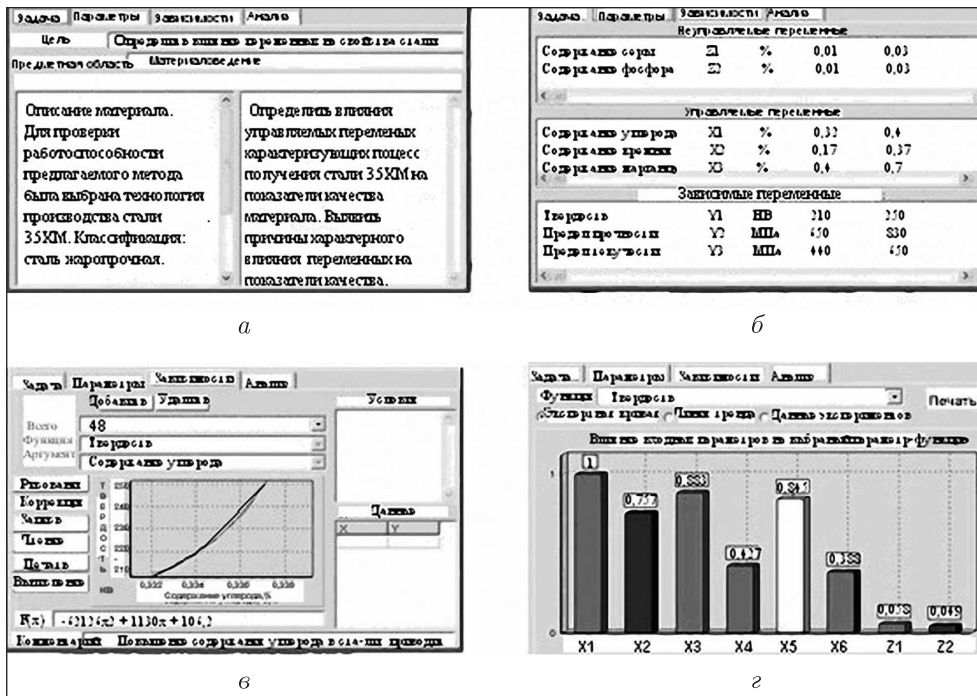


Рис. 1. Этапы создания специализированной экспертной системы

сти применения предлагаемого метода прогнозирования механических характеристик стали на предпроектной стадии ее создания был проведен анализ структуры металла, получаемого в результате реализации матрицы 1. Для этого были изготовлены шлифы металла, полученного в результате реализации строк (2, 7, 14) этой матрицы (рис. 2).

После изучения структуры образцов (микроскоп НЕОРНОТ-2, увеличение  $\times 500$ ) было подтверждено, что сталь 35ХМ имеет структуру мартенсита с некоторым содержанием феррита.

Для оценки фазового состава данной марки стали был проведен подсчет ее ферритной составляющей, который позволяет судить о ее пластических характеристиках, поскольку, как это хорошо известно (см., например, [8]), чем больше феррита содержится в стали, тем более высокими являются ее пластические характеристики.

Для получения наибольшей точности при оценке структуры подсчет ферритной составляющей производился как методом секущих, так и методом сеток [2]. Полученные результаты этого анализа можно считать достаточно точными, так как и по методу сеток, и по методу секущих, они дают относительно высокую сходимость (табл. 1).

По информации, полученной после проведения структурно-фазового анализа, можно судить о влиянии количественных изменений легирующих элементов (см. табл. 2), и в ча-

Таблица 1

Номер образца	Количество феррита (метод секущих), %	Количество феррита (метод сеток), %	Среднее значение, %
1	12	14	13
2	6	8	7
3	3	5	4

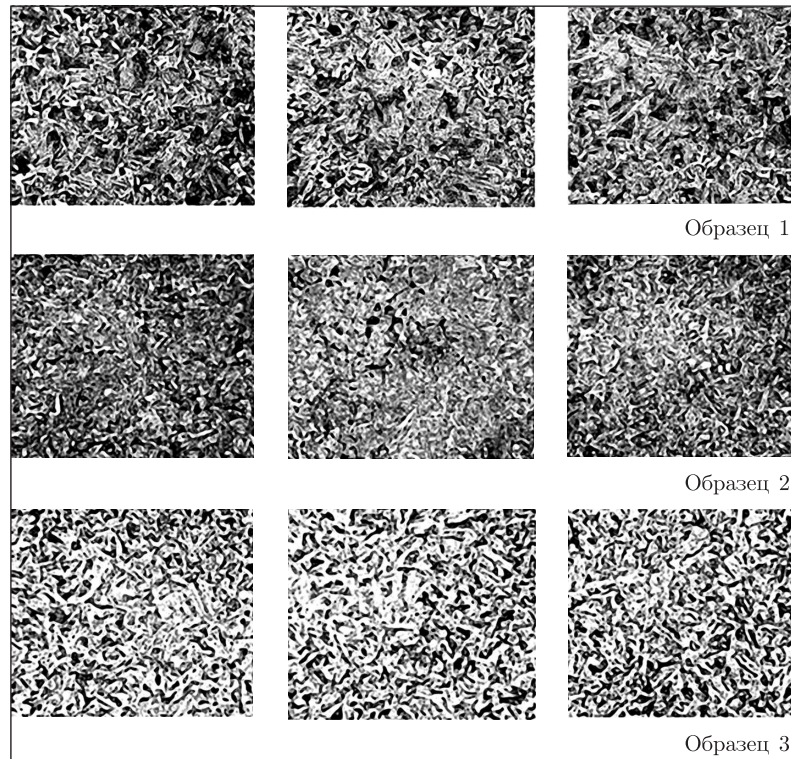


Рис. 2. Фотографии структуры исследуемых образцов ( $\times 500$ )

Таблица 2

Номер образца	C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Cr, %	Ni, %	Mo, %
1	0,35	0,17	0,608	0,026	0,022	1,1	0,208	0,215
2	0,359	0,242	0,699	0,021	0,026	0,904	0,26	0,166
3	0,365	0,238	0,706	0,019	0,03	0,907	0,267	0,166

стности углерода, на долю ферритной составляющей стали 35ХМ, процентные содержания которой отражаются на ее механических характеристиках. То есть образец 1, обладающий наибольшим количеством феррита в структуре по сравнению с образцами 2 и 3, имеет наивысшие показатели пластических характеристик, что следует из реализации указанных выше строк матрицы 1 [7], а образец 3 с наименьшим содержанием феррита, в свою очередь, обладает наибольшими прочностными характеристиками.

Таким образом, на основании проведенного анализа структуры стали 35ХМ можно сделать вывод, что предложенная специализированная ЭС — работоспособна, так как прогнозируемые ею механические свойства исследуемой марки стали дают относительно высокую сходимость с их реальными значениями.

1. Байков А. А. Собрание трудов. Т. 1. Статьи, выступления и речи. – Москва; Ленинград: Изд-во АН СССР, 1952. – 344 с.
2. Салтыков С. А. Стереометрическая металлография. – Москва: Металлургия, 1970. – 375 с.
3. Деформация и разрушение. – Москва: Машиностроение, 1974. – 472 с.
4. Фридман Я. Б. Механические свойства металлов. В 2-х ч. Ч. 2-я. Механические испытания. Конструкционная прочность. – Москва: Машиностроение, 1974. – 368 с.

5. *Управление* риском. Риск. Устойчивое развитие. Синергетика // URL:<http://www.keldysh.ru/papers/2003/source/book/gmalin/gl11.htm>.
6. *Большаков В. И., Дубров Ю. И., Ткаченко А. Н., Ткаченко В. А.* Пути решения задач идентификации качественных характеристик материалов на основе экспертных систем // Доп. НАН України. – 2006. – № 9. – С. 100–103.
7. *Большаков В. И., Дубров Ю. И. Жевтило Е. Ю.* Эмпирическое прогнозирование качественных характеристик материала на предпроектной стадии его создания // Там само. – 2009. – № 6. – С. 103 – 108.
8. *Гуляев А. П.* Металловедение. – Москва, 1986. – 509 с.

*Приднепровская государственная академия  
строительства и архитектуры, Днепрпетровск*

*Поступило в редакцию 13.02.2009*

**V. I. Bol'shakov, Yu. I. Dubrov, E. Yu. Zhevtilo**

**The investigation of workability and effectiveness of the empirical forecasting of qualitative characteristics of steel on the pre-project stage of its production**

*We present the ideology of synthesis of a specialized expert system directed to the identification of mechanical properties of a material. An algorithm of synthesis of this expert system is given, and its program realization is shown. The investigation of a structure of steel taken as an example showed the workability and effectiveness of applications of the offered expert system for the solution of numerically irreducible tasks of materials science.*