

УДК 621.791

Моделирование структурных превращений легированных сталей

Куркин Алексей Сергеевич

ackurkin@mail.ru

SPIN-код: 1823-9010

МГТУ им Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены комплекс математических моделей, необходимых для расчета кинетики структурных превращений легированных сталей при многократном нагреве и источники данных для построения и идентификации моделей. Целью работы является цифровизация опубликованных результатов экспериментальных исследований и обеспечение инженерного расчета структуры и свойств сварного соединения из произвольной легированной стали без проведения предварительных экспериментов.

Ключевые слова: легированные стали, структурные превращения, зоны сварных соединений

Практическая ценность математических моделей структурных превращений легированных сталей определяется возможностью их идентификации по имеющимся экспериментальным данным. Рассеяние состава легирования и других технологических факторов ограничивает перспективность сложных моделей с трудно наблюдаемыми параметрами. Результаты экспериментальных исследований структурных превращений, проведенных в XX в. [1, 2], несмотря на их недостатки, являются единственным реальным источником для идентификации моделей. На повторение экспериментов в таком масштабе рассчитывать не приходится.

Для компьютерного моделирования таких технологических процессов, как многопроходная сварка, необходим комплекс моделей взаимных превращений основных структур: аустенита А, феррита Ф, перлита П, бейнита Б и мартенсита М (см. рисунок). Каждая модель имеет математический аппарат и регрессионные формулы расчета, входящих в него параметров по доступным исходным данным (составу легирования, температуре и напряженному состоянию). Часть значений параметров может быть получена в результате работы других моделей комплекса.

Наиболее поздний атлас диаграмм превращений [1] 1991 г. собран из ряда более ранних атласов западных стран. Ценность атласа [2] связана с использованием сварочных термических циклов с нагревом до температуры 1350 °С и определением комплекса механических свойств. Для построения регрессионных моделей важно наличие большого массива результатов однотипных экспериментов с регистрацией не только начала и конца, но и ряда промежуточных стадий превращения.

Бейнитное превращение аустенита развивается во времени, для его моделирования необходимы изотермические диаграммы ТТТ (горизонтальная стрелка на рисунке). Дополнительная модель для расчета максимальной степени неполного превращения в зависимости от температуры требует данных

ССТ, полученных при непрерывном охлаждении (наклонная стрелка). Эта модель обеспечивает также расчет степени мартенситного превращения.

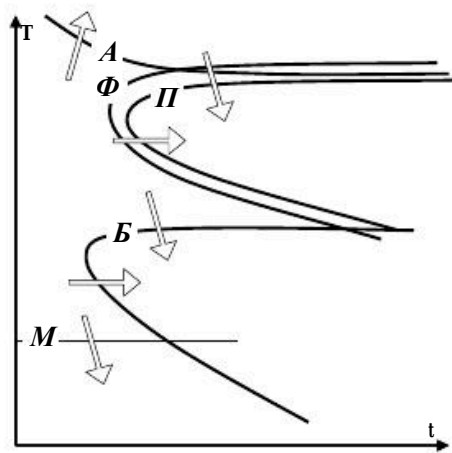


Схема превращений стали при нагреве и охлаждении

Сложность ферритного и перлитного превращений в том, что они развиваются параллельно, в общем температурном интервале. Для их разделения при построении моделей приходится использовать данные как ТТТ, так и ССТ. Эти превращения при охлаждении приводят к уменьшению содержания аустенита и тем самым влияют на последующие бейнитное и мартенситное превращения.

Бейнитное превращение у многих сталей протекает параллельно с ферритным, перлитным и мартенситным превращениями. Такие сочетания являются самыми сложными для моделирования.

Наименьший объем данных накоплен по аустенитному превращению при нагреве, это связано с высокой скоростью превращения и трудностью его регистрации. Его моделирование весьма актуально для разработки технологии сварки, поскольку температура в отдельных частях околошовной зоны достигает интервала неполного или полного превращения. В менее нагретых частях реализуются условия отпуска. Процесс отпуска также требует моделирования, поскольку существенно влияет на свойства стали. Данные для моделирования отпуска имеются в нескольких атласах.

В перспективе разрабатываемый комплекс моделей должен аккумулировать всю полезную информацию из опубликованных атласов XX в. и обеспечить возможность инженерного расчета структуры и свойств сварного соединения из произвольной легированной стали без проведения предварительных экспериментов.

Список источников

- [1] Vander Voort G.F. Atlas of Time-Temperature Diagrams for Irons and Steels. ASM International, 1991, 766 p.
- [2] Seyffarth P., Kusch G. Schweiss-ZTU-Schaubilder. Berlin, Veb Verlag Technik, 1983, 236 p.
- [3] Куркин А.С. Исследование изотермического распада аустенита методами математического моделирования. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*, 2021, т. 87, № 6, с. 25–32.