## КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ КРИВЫХ УПРОЧНЕНИЯ СТАЛИ 55

## С. В. Карпов

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул, Россия

На рассмотрение выносятся результаты обработки кривых деформационного упрочнения с помощью нового программного обеспечения. Кривые получены при испыта-(0,55 % C: сжатие стали 55 ниях на 0,24 % Si; 0,73 % Mn; 0,014 % P; 0,016 % S) при температурах 800, 1000, 1200 °С и скоростях деформации 3,5; 10; 30 с<sup>-1</sup>, условно обозначены S1; стали 55 (0.56 % C: 0,26 % Si; 0,28 % Mn; 0,014 % S; 0,013 % P; 0.12 % Cr; 0.09 % Ni) при температурах 900, 1000, 1100, 1200 °С и скоростях деформации 1.5, 8, 40, 100 с<sup>-1</sup>, условно обозначены S2; стали 55 (0,56 % C; 0,37 % Si; 0,47 % Мп; 0,035 % S; 0,05 % P; 0,12 % Cr; 0,15 % Ni) при температурах 900, 1000, 1100, 1200 °С и скоростях деформации 0,5; 5; 50 с<sup>-1</sup> (S3).

Разработанное программное обеспечение позволяет провести визуальное сравнение кривых упрочнения при любых значениях термомеханических параметров, но в данном случае остановимся на наиболее часто применяемых при проведении экспериментальных исследований.

На рисунке 1 представлены кривые упрочнения стали S1, дополненные расчетными кривыми при температурах 900 и 1100 °С и скоростях деформации ξ= 0,05; 1; 100; 150 с<sup>-1</sup>. Кривые сопротивления деформации при скорости деформации ξ= 10 с<sup>-1</sup> и температурах деформации 800, 1000, 1200 °С, не смотря на все преобразования проводимые с массивами сопротивлений деформации, остаются полностью экспериментальными.



Рисунок 1 – Расчетно-экспериментальные кривые деформационного упрочнения стали S1

С. В. КАРПОВ



Рисунок 2 – Расчетно-экспериментальные кривые деформационного упрочнения стали S2



Рисунок 3 – Расчетно-экспериментальные кривые деформационного упрочнения стали S3

На рисунке 2 изображены кривые упрочнения стали S2, дополненные кривыми, соответствующими температуре 800 °C, а также соответствующими скоростям деформации  $\xi = 0.05$ ; 1; 10; 150 с<sup>-1</sup>. Кривые при скорости деформации  $\xi = 100$  с<sup>-1</sup> и температурах 900..1200 °C являются экспериментальными. Построение расчетных кривых упрочнения на рисунках 1..3 выполнено аппроксимацией точек экспериментальных кривых текучести сначала известными температурными зависимостями сопротивления деформации от температуры деформации при фиксированных значениях  $\epsilon$  и  $\xi$ .

Наличие известных температурных зависимостей позволило экстраполировать значения сопротивления деформации за пределы области их определения для двух «марок» сталей S2 и S3. Построение кривых упрочнения при значениях скоростей деформации, выходящих за пределы областей определения по скоростям деформации, достигается использованием известной зависимости значений сопротивлений деформации от скорости деформации при фиксированных значениях степени и температуры деформации. Построение температурной и кинематической зависимости осуществляется в программе при наличии не менее трёх экспериментальных точек по методу наименьших квадратов.

Точки дополнительных кривых упрочнения соответствующие скоростям и температурам, находящимся внутри интервалов соответствующих областей определения, рассчитываются или на основе аппроксимирующих зависимостей, или на основе интерполяции кривых из областей определения по деформациям и температурам, деформациям и скоростям, скоростям и температурам бикубическими сплайнами.

Сопоставление графиков кривых достигается в программе формированием массивов сопротивлений деформации в системе температура – скорость – файл. Результаты сопоставления представлены на рисунках 4 и 5. Характер расположения кривых и для других температур деформации сохраняется. Ширина полосы занимаемой кривыми в области построения их интерполяцией уже, чем в области их построения экстраполяцией. В первом случае это 25..50 МПа, во втором случае порядка 100 МПа.



Рисунок 4 – Сопоставление кривых деформационного упрочнения стали 55 при температуре 800 °C. Хим. Состав: S1–1, S2–2, S3–3

С. В. КАРПОВ



Рисунок 5 – Сопоставление кривых деформационного упрочнения стали 55 при температуре 1000 °С. Хим. Состав: S1–1, S2–2, S3–3



Рисунок 6 – Расчетно-экспериментальные кривые деформационного упрочнения стали 55, полученные усреднением

Наличие сравнимых по статистической значимости кривых упрочнения, полученных в разных экспериментах на образцах, отличающихся по химическому составу в пределах устанавливаемых требованиями ГОСТ 1050-74 на сталь 55, позволяет говорить о возможности построения зависимостей, каковыми и являются кривые упрочнения, более обобщенно отражающих свойства стали при горячей деформации. Таковыми кривыми являются расчетные кривые деформационного упрочнения, представленные на рисунке 6. Можно отметить, что вид полученных кривых аналогичен виду экспериментальных кривых, обозначаемых условно, как S2 и S3.

Обработка экспериментальных кривых упрочнения выполнена с помощью программы, написанной на языке DELPHI в системе Windows XP. Объём программы 98,5 кб.