

МОДЕЛЬ УРАВНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ СПЛАВОВ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ В ПРОЦЕССАХ ИНТЕНСИВНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

Н. Н. Середкин, К. В. Хищенко

Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия

Уравнение состояния вещества используется при гидродинамическом моделировании процессов высокой интенсивности механического нагружения для замыкания системы уравнений движения среды. В настоящей работе предложены уравнения состояния нескольких тугоплавких металлов (вольфрам, рений и других) и их сплавов (смесей) при высоких давлениях и температурах.

При построении уравнения состояния вещества за основу выбран термодинамический потенциал удельная свободная энергия Гельмгольца (F) в своих естественных переменных: $F = F(V, T)$, где V – удельный объем; T – температура. В предлагаемой модели свободная энергия состоит из трех слагаемых, одно из которых учитывает холодную часть (при абсолютной температуре равной нулю), два других – тепловой вклад атомов и электронов. Из термодинамического потенциала F получены функциональные зависимости для удельной внутренней энергии $E = E(V, T)$, то есть калорическое уравнение состояния, и давления $P = P(V, T)$, то есть термическое уравнение состояния, согласно термодинамическим соотношениям $E = F - T(\partial F / \partial T)_V$ и $P = -(\partial F / \partial V)_T$. Для каждого рассмотренного в работе тугоплавкого металла свободные параметры (константы) уравнения состояния подбирались из условия наилучшего согласия с известными данными экспериментов по ударному сжатию вещества при высоких давлениях и температурах.

Уравнения состояния для сплавов строятся на основе другого термодинамического потенциала – удельной свободной энергии Гиббса (G) в своих естественных переменных: $G = G(P, T)$. При таком подходе из термодинамических соотношений следует, что энергию Гиббса смеси можно рассчитать путем сложения энергий Гиббса компонентов с учетом их массовых долей. Объем и внутренняя энергия единицы массы смеси находятся по формулам $V = (\partial G / \partial P)_T$ и $E = G - T(\partial G / \partial T)_P - P(\partial G / \partial P)_T$.

На основе предлагаемых уравнений состояния тугоплавких металлов и их сплавов проведены расчеты термодинамических характеристик этих материалов в широком диапазоне давлений и температур. Из сопоставления результатов этих расчетов с имеющимися данными по ударному сжатию материалов следует вывод об адекватности построенных уравнений состояния.
