

**Д. Н. Тогобицкая, И. Р. Снигура**

Институт черной металлургии НАНУ им. З. И. Некрасова, г. Днепропетровск

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУР ЛИКВИДУС И СОЛИДУС ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРОВ МЕЖАТОМНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

Широкое применение в энергетической отрасли и производстве газотурбинной техники, сложнелегированных жаропрочных никелевых сплавов (ЖНС), инициирует исследования их физико-химических свойств, которые лимитируются эксплуатационными возможностями. Физико-химические, механические, эксплуатационные свойства могут быть спрогнозированы путем математического моделирования неразрывной цепи «состав–структура–свойства» с учетом параметров межатомного взаимодействия [1].

В настоящей работе исследована взаимосвязь  $t_L$  и  $t_S$  для 12 составов жаропрочных никелевых сплавов с параметрами межатомного взаимодействия, что позволило установить наиболее информативные их параметры, такие как направленная зарядовая плотность общей системы соответствующего сплава ( $\rho_{\text{общ}}$ ) и  $\text{tg}\alpha_\gamma$  – средневзвешенный параметр констант легирующей подсистемы  $\gamma$ -упрочнителей твердого раствора (Mo, W, Re, Ta), характеризующий изменение радиуса иона при изменении его заряда. При таком подходе к моделированию температур  $t_L$  и  $t_S$ , они описываются уравнением:  $t_L, t_S = f(\rho_{\text{общ}}, \text{tg}\alpha_\gamma)$ ,  $R^2 \geq 0.9$ .

Важность учета вклада суммарного количества легирующих  $\gamma$ -упрочнителей твердого раствора отмечали авторы работы [2] ( $t_L, t_S = f(\Sigma\gamma)$ ), однако при таком подходе, не учитывается доля влияния каждого из легирующих элементов и их химическая индивидуальность. Разработанная и предлагаемая авторами работы [2] модели для прогнозирования  $t_L$  и  $t_S$  расплавов были дополнительно проэкзменованы на независимых данных, результаты анализа приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Данные прогнозных моделей для  $t_L$  и  $t_S$  жаропрочных никелевых сплавов, не вошедших в исходную выборку

Марка сплава	$t_{Lэксп}$ °C	$t_{Sэксп}$ °C	По модели авторов работы [2] $t_L$ и $t_S = f(\Sigma\gamma)$		По разработанной модели на основе концепции направленной химической связи Приходько Э.В. [1] $t_L$ и $t_S = f(\rho_{общ}, tg\alpha_\gamma)$	
			$t_{Lрасч}$ °C	$t_{Sрасч}$ °C	$t_{Lрасч}$ °C	$t_{Sрасч}$ °C
PWA – 1426	1381	1342	1393.69	1323.085	1402.265	1342.318
RENE – 142	1376	1338	1395.911	1326.598	1401.929	1341.688
PWA – 1484	1403	1350	1418.674	1362.603	1403.161	1343.998
RENE – N4	1341	1271	1375.924	1294.983	1363.616	1295.392
Ошибка прогноза (%)			1.52	1.27	1.28	0.66

Как следует из сопоставительного анализа, экспериментальные и расчетные значения хорошо согласуются между собой для обеих моделей и отличаются высокой точностью. Однако сочетание параметров  $\rho_{общ}$  и  $tg\alpha_\gamma$  можно рассматривать в качестве более полного описания структурных превращений, поскольку учитываются параметры как общего состава марки сплава так и подсистемы легирующих упрочнителей  $\gamma$ -твердого раствора.

Дальнейшее пополнение базы экспериментальных данных о физико-химических и механических свойствах металлических расплавов банка данных «Металлургия» позволит усовершенствовать прогнозные модели и оптимизировать температурные условия технологических процессов для получения качественной металлопродукции с улучшенными структурными характеристиками.

#### Список литературы:

1. Приходько Э.В. Эффективность комплексного легирования сталей и сплавов. – К.: Наукова думка, 1995. – 292с.
2. Гайдук С.В., Кононов В.В., Куренкова В.В. Получение прогнозирующих математических моделей для расчета термодинамических параметров литейных жаропрочных никелевых сплавов// СЭМ.-2015. - № 5. – С. 31-37.