

Таблица 2 – Химсостав расплава с комплексными модификаторами

Плавка № 1132	Массовая доля содержания элементов, %					V
	C	Si	Mn	S	P	
				не более		
Проба 1	0,138	0,264	0,320	0,029	0,030	0,045
»	0,178	0,330	0,318	0,011	0,029	0,030
»	0,192	0,335	1,21	0,014	0,028	0,020
Ковшовая проба № 4	0,192	0,335	1,21	0,016	0,025	0,063
Плавка № 1133						
Проба 1	0,165	0,155	0,269	0,046	0,025	0,006
»	0,182	0,379	0,270	0,017	0,023	0,015
Проба 3	0,158	0,345	1,25	0,018	0,025	0,015
Ковшовая проба № 4	0,158	0,345	1,19	0,018	0,025	0,068

Таблица 3 – Результаты механических испытаний образцов

Наименование параметра	По НД	Фактические номер плавки				Соответствие параметров
		1125	1126	1132	1133	
		Среднее значение				
Предел текучести, МПа	Не менее 343	390	413	493	507	Соответствует
Временное сопротивление, МПа	»	617	603	641	666	Соответствует
Относительное удлинение, %	»	19,7	22,1	20,7	23,9	Соответствует
Относительное сужение, %	»	40	42,2	31,3	51	Соответствует
Ударная вязкость, кДж/м ² при (-60 °С)	»	204	212	221	221	Соответствует

Заключение. Исследование показало, что процесс десульфурации металла добавлением извести в количестве 16,6 кг и плавящего шпата 5 кг на тонну сплава улучшает удаление вредных примесей, таких как сера на 60 %, а фосфор – от 10–15 %.

Результаты исследования показывают, что за счёт добавления в расплав комплексных модификаторов типа (Fe-Al-V-Ca) улучшаются механические свойства стали 20ГЛ на $\sigma_s = 666$ МПа, а $KCV = 221$ кДж/м².

Исходя из проведённых исследований, модифицирование стали марки 20ГЛ комплексными модификаторами является целесообразным для выплавки литых деталей тележек грузовых вагонов.

Список литературы

- 1 Анализ причин повреждения и возможности продления срока службы боковых рам тележек грузовых вагонов / В. И. Сенько [и др.] // Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2010. – № 4. — С. 13–18.
- 2 Температурная зависимость десульфурации металла в сталеплавильных агрегатах / Г. И. Котельников [и др.] // Электromеталлургия. – 2010. – № 8.
- 3 Григорович, К. В. Анализ процессов комплексного раскисления расплавов углеродистых сталей / К. В. Григорович, А. К. Гарбер // Металлы. – 2011. – № 5.
- 4 Сойфер, В. М. Выплавка стали в кислых электропечах / В. М. Сойфер. – М. : Машиностроение, 2009.

УДК 536.2

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ СОЛИТОНОВ В ОГРАНИЧЕННЫХ ОБЛАСТЯХ

В. Ф. ФОРМАЛЕВ, С. А. КОЛЕСНИК, Е. Л. КУЗНЕЦОВА
Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация

Теоретически волновой теплоперенос описывается уравнением теплопроводности гиперболического типа, имеющим волновое слагаемое (вторая производная температуры по времени) и диссипативное слагаемое (первая производная температуры по времени).

На основе этого уравнения волновой теплоперенос рассматривался в работах [1–10]. В работе [11] приведен анализ волнового теплопереноса на основе двух времен релаксации (по теплопереносу и по упругости).

Следует отметить, что волновой теплоперенос возникает не только из-за наличия времени релаксации, но также из-за нелинейности теплофизических характеристик среды, зависящих от температуры [12–15].

В работе на основе анализа задач о волновом теплопереносе в ограниченных телах развита теория тепловых изолированных волн (солитонов) для исследования процессов теплопереноса в окрестности начального момента времени и в окрестности границ ограниченного тела, то есть масштабы времени соизмеримы с временем релаксации (наносекунды), а масштабы пространственной переменной измеряются в нанометрах. Получено новое аналитическое решение задачи волнового теплопереноса на основе уравнения теплопроводности гиперболического типа под действием серии солитонов, с помощью которого проанализировано взаимодействие отдельных солитонов друг с другом, поглощение и отражение солитонов от границ тела. Анализ большого числа численных результатов показал, что тепловые солитоны отражаются не так как механические, поскольку на теплоизолированных стенках вначале происходит поглощение стеной тепловой энергии солитона, а затем происходит отвод энергии теплопроводностью в противоположном направлении. Результаты работы могут использоваться при тепловом взаимодействии мощных излучений с поверхностями твердых тел, а также в задачах квантовой механики.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №18-01-00446А, №18-01-00444А и гранта Президента РФ № МД-1250.2018.8.

Список литературы

1 **Соболев, С. Л.** Процессы переноса и бегущие волны в условиях локально-неравновесных систем / С. Л. Соболев // Успехи физических наук. – 1991. – Т. 161. – № 3. – С. – 5–16.

2 **Шашков, А. Г.** Волновые явления теплопроводности / А. Г. Шашков, А. В. Бубнов, С. Ю. Яновский. – М. : УРСС, 2004. – 248 с.

3 **Карташов, Э. М.** Математическое моделирование теплопроводности с двухфазным запаздыванием / Э. М. Карташов // Инженерно-физический журнал. – 2015. – Т. 89. – № 2. – С. 338.

4 **Формалев, В. Ф.** Методология решения обратных коэффициентных задач по определению нелинейных теплофизических характеристик анизотропных тел / В. Ф. Формалев, С. А. Колесник // Теплофизика высоких температур. – 2013. – Т. 51. – № 6. – С. 875–883.

5 **Формалев, В. Ф.** Моделирование теплового состояния композиционных материалов / В. Ф. Формалев, С. А. Колесник, С. В. Миканев // Теплофизика высоких температур. – 2003. – Т. 41. – № 6. – С. 935–941.

6 **Формалев, В. Ф.** Аналитическое исследование теплопереноса при плёночном охлаждении тел / В. Ф. Формалев, С. А. Колесник, А. А. Чипашвили // Теплофизика высоких температур. – 2006. – Т. 44. – № 1. – С. 107–112.

7 **Формалев, В. Ф.** Об обратных коэффициентных задачах теплопроводности по восстановлению нелинейных компонентов тензора теплопроводности анизотропных тел / В. Ф. Формалев, С. А. Колесник // Инженерно-физический журнал. – 2017. – Т. 90. – № 6. – С. 1371–1379.

8 **Колесник, С. А.** Идентификация компонентов тензора теплопроводности анизотропных композиционных материалов / С. А. Колесник // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2012. – Т. 18. – № 1. – С. 111–120.

9 **Формалев, В. Ф.** Математическое моделирование аэрогазодинамического нагрева затупленных анизотропных тел / В. Ф. Формалев, С. А. Колесник. – М. : Изд-во МАИ, 2016. – 160 с.

10 **Формалев, В. Ф.** Методика, алгоритм и программный комплекс по определению теплового состояния охлаждаемых микроракетных двигателей / В. Ф. Формалев, С. А. Колесник // Труды МАИ. – 2014. – № 78.

11 **Формалев, В. Ф.** О волновом теплопереносе в окрестности начального момента времени при интенсивном конвективно-кондуктивном нагреве / В. Ф. Формалев, С. А. Колесник, Е. Л. Кузнецова // Теплофизика высоких температур. – 2018. – Т. 56. – № 3. – С. 412–416.

12 **Формалев, В. Ф.** Волновой теплоперенос в ортотропном полупространстве под действием нестационарного точечного источника тепловой энергии / В. Ф. Формалев, С. А. Колесник, Е. Л. Кузнецова // Теплофизика высоких температур. – 2018. – Т. 56. – № 5. – С. 799–804.

13 **Формалев, В. Ф.** Локально-неравновесный теплоперенос в анизотропном полупространстве под действием нестационарного точечного источника тепловой энергии / В. Ф. Формалев, С. А. Колесник, И. А. Селин // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Естественные науки. – 2018. – № 5. – С. 99–111.

14 **Формалев, В. Ф.** Теплоперенос в полупространстве с трансверсальной анизотропией под действием сосредоточенного источника теплоты / В. Ф. Формалев, С. А. Колесник // Инженерно-физический журнал. – 2019. – Т. 92. – № 1. – С. 55–63.

15 **Формалев, В. Ф.** Влияние продольной неизотермичности на сопряженный теплообмен между пристенными газодинамическими течениями и затупленными анизотропными телами / В. Ф. Формалев, С. А. Колесник, Е. Л. Кузнецова // Теплофизика высоких температур. – 2009. – Т. 47. – № 2. – С. 456–463.