

06

## Связь ликвации с температурой Дебая

© В.Я. Хентов,<sup>1</sup> Е.Ю. Шачнева,<sup>2</sup> В.В. Семченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Южно-Российский государственный политехнический университет,  
 346428 Новочеркасск, Россия

<sup>2</sup> Астраханский государственный университет,  
 414000 Астрахань, Россия  
 e-mail: vkhentov@mail.ru; evgshachneva@yandex.ru

(Поступило в Редакцию 12 февраля 2018 г.)

Установлено, что ряд параметров, характеризующих процесс ликвации, связан с характеристической температурой Дебая химического элемента. Коэффициенты корреляции всегда превышали значение 0.9.

DOI: 10.21883/JTF.2019.04.47314.63-18

Под ликвацией понимают неоднородность химического состава, возникающую при кристаллизации расплава. Различают ликвацию в пределах слитка — зональную

(макроскопический уровень) или в пределах дендрита — дендритную (микроскопический уровень). Можно показать, что различные параметры, связанные с ликвацией,

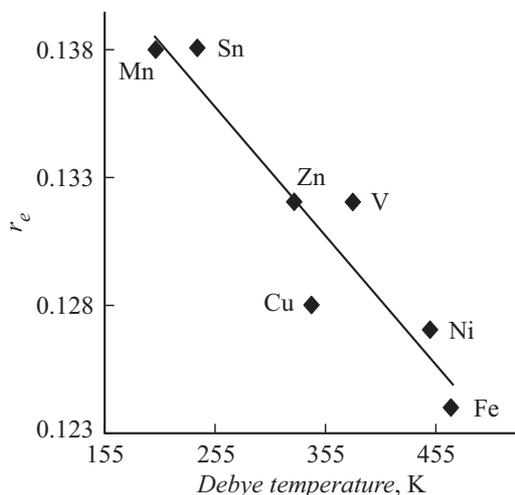


Рис. 1. Зависимость значений эффективного атомного радиуса  $r_e$ .

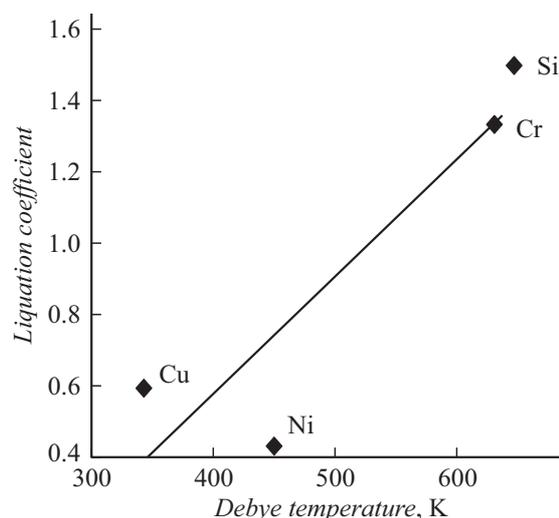


Рис. 3. Зависимость коэффициента ликвации от температуры Дебая. Коэффициент корреляции 0.906.

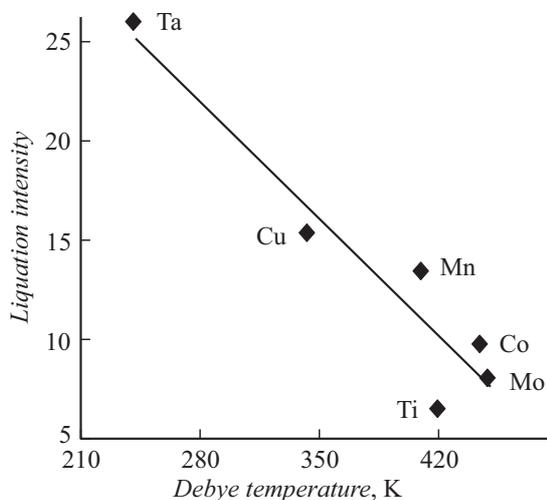


Рис. 2. Зависимость интенсивности ликвации от температуры Дебая. Коэффициент корреляции 0.949.

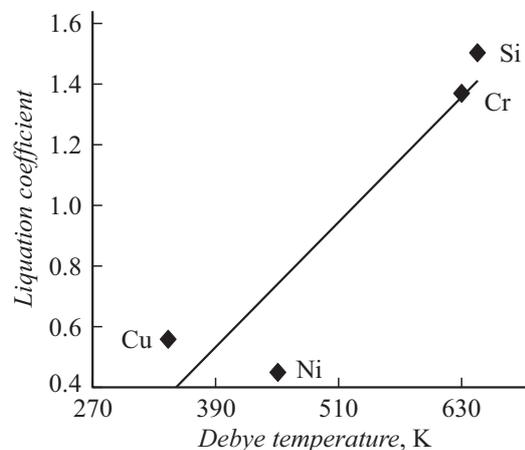


Рис. 4. Зависимость коэффициента ликвации от температуры Дебая. Коэффициент корреляции 0.924.

Влияние способа закалки на распределение элементов (C) в междендритных микрообъемах, коэффициент корреляции R

Содержание элементов C (%)	R	Условия закалки
$C = -2.3118 + 0.0074\Theta$	0.994	Исходное литое состояние
$C = -2.0785 + 0.0078\Theta$	0.881	Закалка в охлажденной воде 1150°C в течение 10 h
$C = -2.0785 + 0.0078\Theta$	0.880	Закалка в охлажденной воде 1150°C в течение 10 h; отпуск 700°C, 2 h

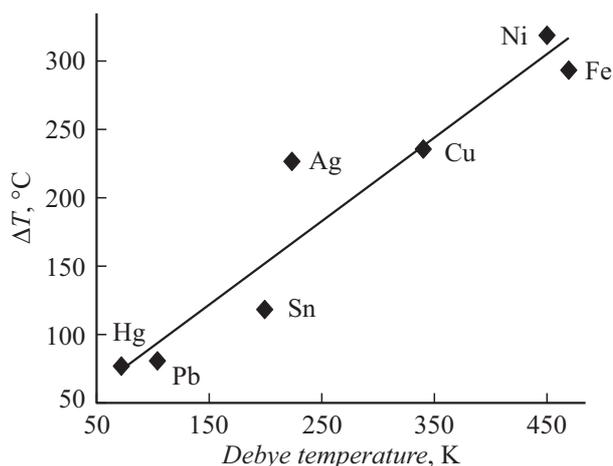


Рис. 5. Зависимость максимального переохлаждения  $\Delta T$  от температуры Дебая. Коэффициент корреляции 0.953.

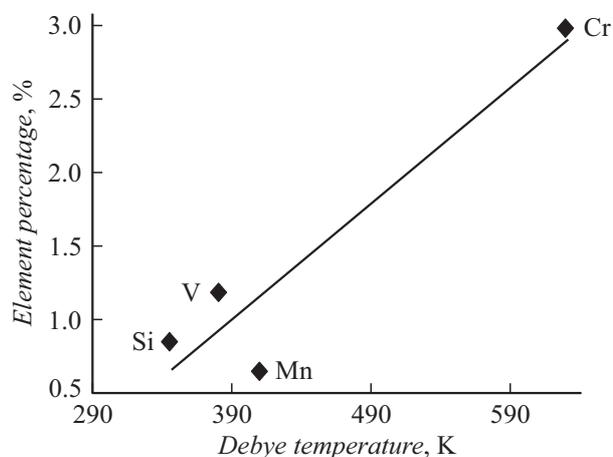


Рис. 6. Зависимость содержания элементов в междендритных объемах (%) от температуры Дебая. Коэффициент корреляции 0.944.

тесно связаны с такой важной интегральной характеристикой твердого тела, как температура Дебая.

Например, значения эффективного атомного радиуса, растворенного в решетке компонента ге, для Ga, Ge, As, Nb, Mo, Cd и In [1] оказались связанными с температурой Дебая химического элемента [2] (рис. 1).

Такое важное понятие, как интенсивность ликвации [2], также тесно связано с температурой Дебая (рис. 2).

Оценка дендритной ликвации в слитках электрошлакового переплава диаметром 100 mm для стали 05X16H4Д2Б [3] в функции температуры Дебая носит линейный характер (рис. 3).

Для элементов Cr, Si, Cu и Ni также прослеживается линейная зависимость коэффициента ликвации [3] от температуры Дебая  $\Theta$ . Коэффициент ликвации  $= -0.3704 + 0.0024\Theta$ . Коэффициент корреляции 0.82 (рис. 4).

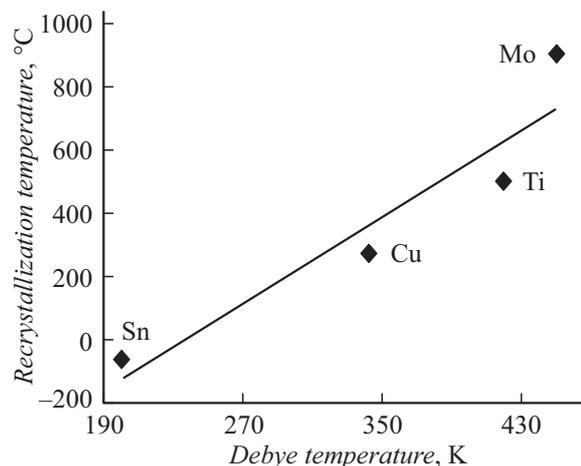


Рис. 7. Зависимость температуры рекристаллизации от температуры Дебая. Коэффициент корреляции 0.941.

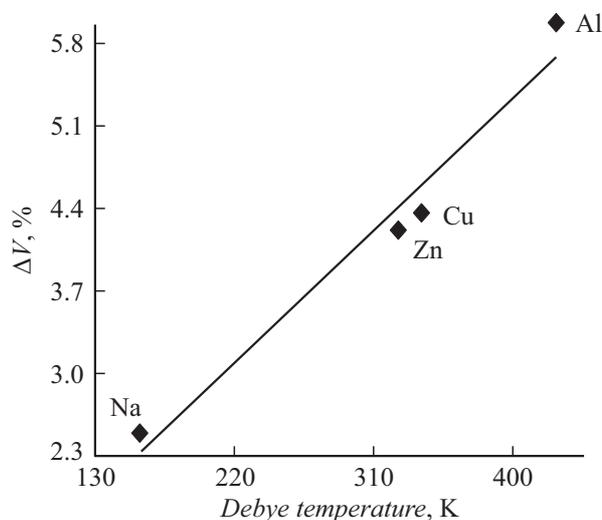
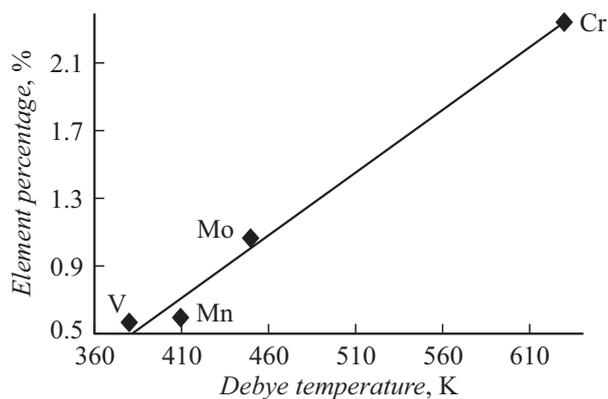
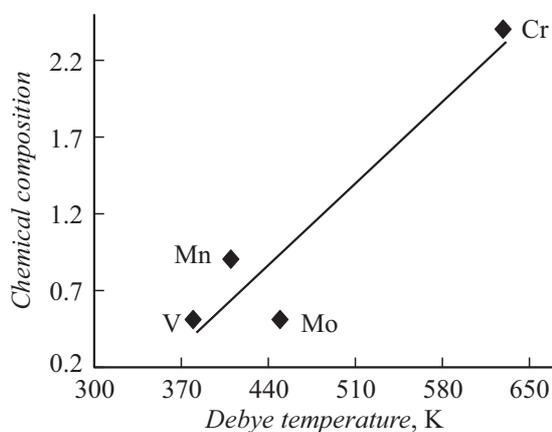


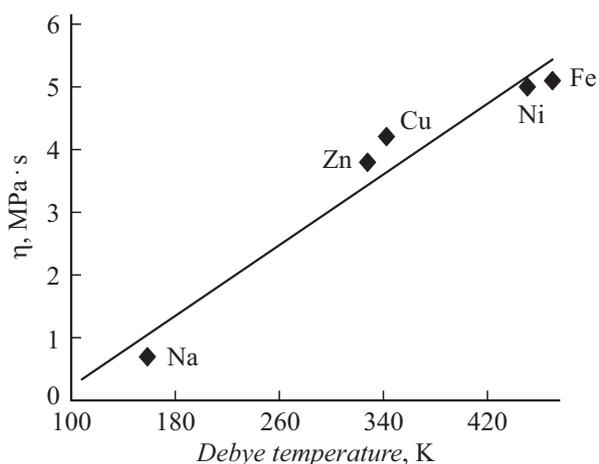
Рис. 8. Зависимость изменения объема  $\Delta V$  от температуры Дебая. Коэффициент корреляции 0.978.



**Рис. 9.** Зависимость содержания элементов в осях дендритов (сталь 3X2M2Ф в исходном литом состоянии) от температуры Дебая. Коэффициент корреляции 0.944.



**Рис. 10.** Зависимость химического состава локальных областей от температуры Дебая. Коэффициент корреляции 0.941.



**Рис. 11.** Зависимость вязкости расплавленного металла  $\eta$  от температуры Дебая. Коэффициент корреляции 0.972.

Интересно отметить связь максимального переохлаждения  $\Delta T$ , полученного методом малых капель [4], с температурой Дебая (рис. 5).

Следует отметить, что содержание элементов в структуре стали 3X2M2 в исходном литом состоянии в междендритных объемах [1] также связано с температурой Дебая (рис. 6).

Температурные режимы обработки металлов также связаны с температурой Дебая. Например, температура рекристаллизации [5] для Mo, Ti, Cu и Sn зависит от температуры Дебая (рис. 7).

Процесс плавления связан с изменением объема  $\Delta V$  (экспериментально найденные значения) [1]. На рис. 8 приведена зависимость изменений объема  $\Delta V$  от температуры Дебая.

Повышенный интерес вызывает содержание элементов в осях дендритов в исходном литом состоянии [1]. На рис. 9 приведена зависимость содержания элементов в структуре стали 3X2M2Ф от температуры Дебая металла.

Распределение элементов в осях дендритов в междендритных микрообъемах в структуре штампованной стали 3X2M2Ф не зависит от способа закалки (см. таблицу) [1].

Изменение химического состава локальных областей, которые выделяются в стали 26X1MФА в процессе нагревания до температуры 810°C, определенные с помощью микрорентгеноспектрального анализа [6] в функции температуры Дебая демонстрирует рис. 10.

Процесс ликвации в значительной степени определяется вязкостью расплавленного металла [1], которая в свою очередь связана с температурой Дебая (рис. 11).

Таким образом, процесс ликвации непосредственно связан с температурой Дебая металлического элемента.

## Список литературы

- [1] Еришов Г.С., Позняк Л.Ф. Микронеоднородность металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1985. 214 с.
- [2] Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978. 791 с.
- [3] Левков Л.Я. Теоретические предпосылки и практические методы управления физико-химическими и теплофизическими процессами при электрошлаковом переплаве, определяющие качество ответственных изделий. Диссертация докт. техн. наук. Москва, 2015.
- [4] Вайнгард У. Введение в физику кристаллизации металлов. / Пер с англ. О.В. Абрамова. Под ред. Я.С. Уманского. М.: Мир, 1967. 170 с.
- [5] Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И. Материаловедение: Учебник для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. СПб.: Химиздат, 2007. 784 с.
- [6] Мухихин С.А. Влияние химической неоднородности среднеуглеродистых низколегированных сталей на формирование структуры и комплекса свойств при термическом воздействии. Диссертация канд. техн. наук. Екатеринбург, 2015.