

Скребцов А.М., Кузьмин Ю.Д., Терзи В.В., Секачѳв А. О, Качиков А.С.

ДЕНДРИТНАЯ ЛИКВАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В СПЛАВАХ ЖЕЛЕЗА, СВЯЗЬ ЕЕ С ТЕМПЕРАТУРОЙ ЛИКВИДУС РАСПЛАВА

Неоднородность сплава затвердевшего металла, так называемую ликвацию или сегрегацию различных элементов, открыли в 1866 г. А. С. Лавров и Н. В. Калакуцкий [1]. В настоящее время различают ликвацию в объѳме отливки (зональная) и в пределах кристаллических зѳрен (дендритная) [2]. Статья посвящена дендритной ликвации элементов в стали.

«Причина дендритной ликвации – затвердевание сталей и сплавов в некотором интервале температур. В начале затвердевания образуются оси дендритов первого порядка, обогащенные компонентами, имеющими более высокую температуру затвердевания... В участках, расположенных между осями дендритов, находится жидкость, обогащенная легкоплавкими примесями. Жидкие участки затвердевают последними» [2].

В металлах с развитой дендритной ликвацией элементов при прокатке или ковке в структуре появляются волокна, вытянутые вдоль направления деформации. Свойства металла вдоль и поперек волокон – разные [3]. Отсюда появляется опасность поломок деталей машин при их эксплуатации.

Дендритная ликвация есть трудноудаляемый дефект металла. В некоторых случаях для устранения этого дефекта в слитках в стали используют диффузионный отжиг слитков перед прокаткой, который состоит в длительном нагреве стали при весьма высоких температурах (1000-1200⁰С) [3].

Главное в методике вычисления дендритной ликвации в металле – определение концентрации элементов в осях дендритов C_T , затвердевающих первыми, а также в межосных пространствах осей, т. е. в последних объемах затвердевающего жидкого расплава C_J .

При различных методиках исследования дендритной ликвации элементов в металле, авторы использовали разнообразные формулы для вычисления коэффициентов ликвации элементов в металле. Б. Б. Гуляев [4] обосновывал, что формулы сложных явлений равновесных процессов можно применить к реальным процессам образования ликвации элементов. Такие константы ликвации элементов он назвал квазиравновесными, т.е.

$$K_{KP} = \frac{C_J - C_T}{C_J} \quad (1)$$

Кроме этого, И. Н. Голиков ввел в науку понятие экспериментального коэффициента ликвации элементов K_3

$$K_3 = \frac{C_J}{C_T} \quad (2)$$

Коэффициенты K_{KP} и K_3 выражают в долях единицы или в процентах.

Мы нашли связь между величинами K_{KP} и K_3 . Они выражаются формулами:

$$K_{KP} = \frac{K_3 - 1}{K_3} \quad (3)$$

$$\text{и } K_3 = \frac{1}{1 - K_{KP}} \quad (4)$$

где K_{KP} и K_3 – в долях единицы.

И. Н. Голиков [5] показал, что коэффициент ликвации элементов зависит от многих факторов, в том числе и от химического состава металла и условий его затвердевания.

Поэтому задача настоящей работы – определить влияние температуры ликвидус металла на квазиравновесный коэффициент ликвации $K_{кр}$.

В качестве исходных данных использовали результаты работы [6]. В этой работе сплавы железа, содержащие С, Si, Cu, Ni и Мо, плавил в алундовых тиглях и охлаждали со скоростью 30 град/мин. Авторы опубликовали значения $C_{ж}$ и $C_{т}$ для разных проб.

Содержание углерода в сплавах изменялось в пределах 0,03÷4,06 % (18 проб), кремния – в пределах 0,21÷0,91 % (18 проб), никеля от 2,94 до 3,20% (8 проб) и меди от 1,90 до 2,75% (10 проб).

Температуру ликвидус разных марок стали вычислили с помощью известной в литературе формулы по их химическому составу:

$$t_{л} = 1539 - (70 \cdot \%C + 8 \cdot \%Si + 5 \cdot \%Mn + 25 \cdot \%S + 30 \cdot \%P + 3 \cdot \%Ni + 1.5 \cdot \%Cr + 3 \cdot \%Mo + 1 \cdot \%W + 2 \cdot \%V) \cdot C. \quad (5)$$

На рис.1 приведены квазиравновесные коэффициенты $K_{кр}$ ликвации элементов меди (линия 1), никеля (линия 2) в зависимости от температуры ликвидус расплава. Такая же зависимость для кремния приведена на рис. 2. К зависимостям для никеля и кремния приведены точки экспериментальных значений называемых величин из другой работы [8]. Как видно из рисунков 1 и 2, экспериментальные значения рассматриваемых величин в обеих работах хорошо согласуются друг с другом.

Значения коэффициентов ликвации элементов $K_{кр}$ в зависимости от температуры ликвидус $t_{л}$ являются линейными и выражаются следующими уравнениями с соответствующей достоверностью R^2 :

а) для меди:

$$K_{кр} = 0,231 \cdot t_{л} - 316,8; R^2=0,788; \quad (6)$$

б) для никеля:

$$K_{кр} = 0,187 \cdot t_{л} - 265,6; R^2=0,952; \quad (7)$$

а) для кремния:

$$K_{кр} = 0,222 \cdot t_{л} - 300,7; R^2=0,736; \quad (8)$$

Полученные зависимости можно объяснить следующим образом.

В каждом плавильном устройстве, как правило, жидкий расплав нагревается до определенной температуры. Однако температуры ликвидус расплава могут существенно отличаться для разных сплавов. Так, например, по данным публикации [9] температуры ликвидус сталей 15X1M1ФЛ, 40X2Л, 10X18Н9ТЛ и ЛА–1 составляют соответственно 1505, 1490, 1440 и 1410 °С, т.е. с разницей почти в 100 °С. Поэтому, очевидно, в любом плавильном агрегате при выплавке этих сталей может возникнуть не одинаковый их перегрев над линией ликвидус. Из рис.1 и 2 видно, что чем больше температура ликвидус сплава и, следовательно, чем меньше перегрев расплава над точкой ликвидуса, тем больше коэффициент ликвации элементов. Этот факт обнаружен в литературе впервые. Поэтому для металлов с высоким значением температуры ликвидус для снижения коэффициента ликвации элементов можно рекомендовать перегревать расплав перед выпуском из печи или хотя бы выпускать его из печи с температурой на верхнем пределе технологической инструкции.

ВЫВОДЫ

1. Ликвация элементов в металлах приводит к волокнистой микронеоднородности структуры и разным механическим свойствам в направлениях вдоль и поперёк деформации металла.
2. Для уменьшения ликвации элементов в металлах с высокой температурой ликвидус нужно перегреть расплав перед выпуском его из плавильного агрегата или производить выпуск хотя бы на верхнем пределе температуры технологической инструкции.

Перечень ссылок

1. *Саратовкин А. А.* Дендритная кристаллизация / А.А. Саратовкин. – М.: Металлургиздат, 1953. – 95 с.
2. *Новокщена С. М.* Дефекты стали: Справочник / С. М. Новокщена., *М. И. Виноград.* - М.: Металлургия, 1984. – 200с.
3. *Гуляев А. П.* Металловедение/ А.П. Гуляев - М.: Металлургия, 1986. – 544с.
4. *Гуляев Б. Б.* Физико – химические процессы синтеза сплавов/ Б. Б. Гуляев – Ленинград: Изд. Ленинского университета, 1980. – 192 с.
5. *Голиков И.Н.* Дендритная ликвация в стали /И. Н. Голиков – М. : Металлургия, 1958. – 206 с.
6. *Марцинив Б. Ф.,* Яценко А. И., Репина Н. И. Дендритная ликвация в легированных железных сплавах / Б. Ф. Марцинив, А. И. Яценко, Н. И. Репина // Структура и свойства стали и чугуна. - М.: Металлургия, - 1970 г. - С. 5 –17.
7. *Еланский Г. Н.* Разливка и кристаллизация стали/ Г. Н. Еланский – М.: МГВМИ, 2010. - 191 с.
8. *Голиков И.Н.* Дендритная ликвация в сталях и сплавах / И.Н. Голиков, С.Б. Масленков – М. : Металлургия, 1977. – 224 с.
9. *Василевский П. Ф.* Технология стального литья / П. Ф. Василевский – М.: Машиностроение, 1974. – 408 с.

Рецензент д.т.н., проф. Ефременко В.Г.

Статья поступила 21 .06.2013г.

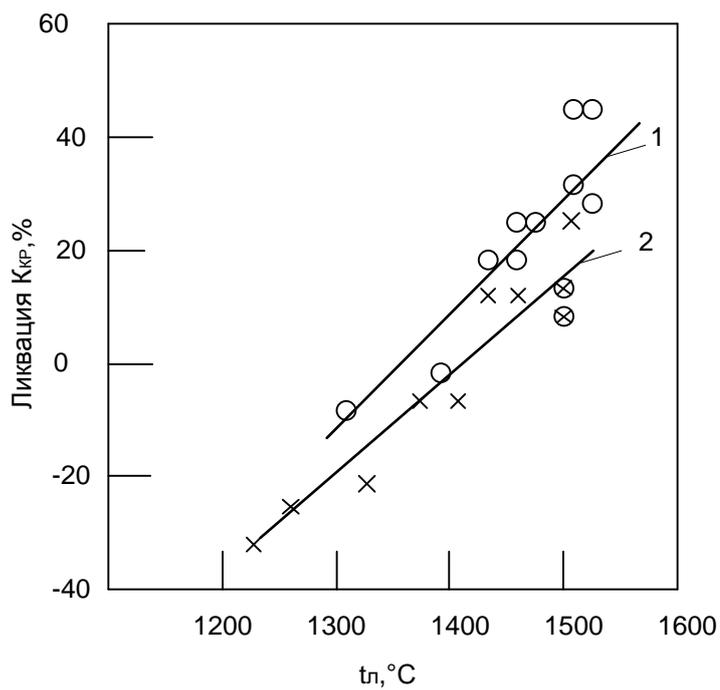


Рис.1. Квазиравновесный коэффициент ликвации элементов $K_{кр}$ для меди (1) и никеля (2) в зависимости от температуры ликвидус t_l сплава, °C. Опытные данные: 1 – медь [6]; 2 – никель -X - [6]; ⊗ - [8].

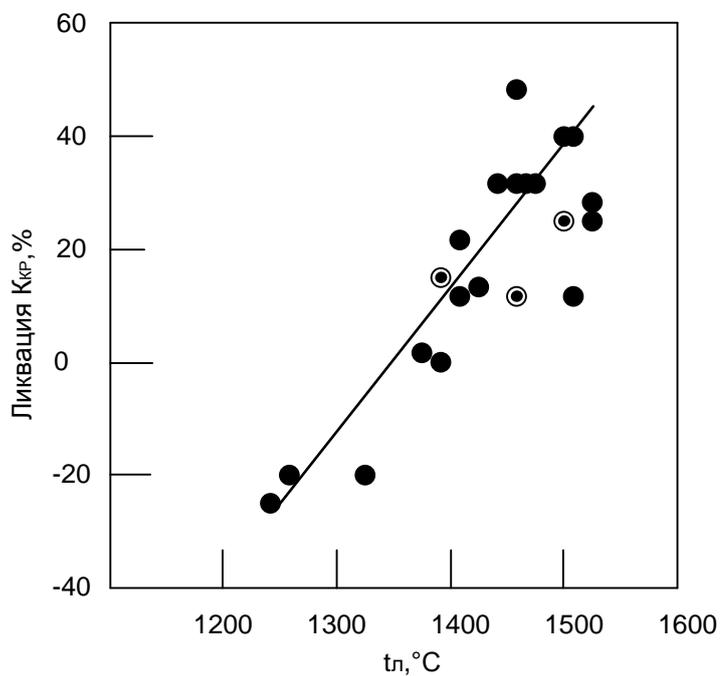


Рис.2. Квазиравновесный коэффициент ликвации кремния $K_{кр}$, % в зависимости от температуры ликвидус t_l сплава, °C по данным: ● - [6] и ⊙ - [8].