

УДК 669.017.16:639.2:620.18

**ВЛИЯНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ С РАЗЛИЧНОЙ  
ЧАСТОТОЙ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
В СТАЛИ 110Г13Л**

**В. И. Большаков, д. т. н., проф., Н. А. Ротт, асс., Е. А. Ванина, студ.**

*Государственное высшее учебное заведение  
«Приднепровская государственная академия  
строительства и архитектуры»*

**Постановка проблемы.** Среди многочисленных марок стали, применяемых для производства фасонного литья, особое место занимает высокомарганцевая аустенитная сталь [1]. На рисунке 1 представлена диаграмма системы Fe–Mn–C при 13 % марганца.

**Анализ публикаций.** Сталь 110Г13Л широко используется для отливок, работающих в условиях ударно-абразивного износа (зубья ковшей, экскаваторов, траки гусеничных машин, железнодорожные стрелки и крестовины и др.) [2].

Отличительной особенностью этой стали является то, что повышение твердости, и соответственно износостойкости, поверхностных слоев приобретает детали в процессе эксплуатации под действием ударных и истирающих нагрузок при сохранении вязкой сердцевины и способности противостоять ударным нагрузкам, не разрушаясь [2].

Высокое содержание марганца и углерода обеспечивает аустенитную структуру отливок даже в условиях медленного охлаждения.

Отлитая марганцовистая сталь слегка притягивается магнитом, поскольку в литом состоянии структура ее представляет собой зерна аустенита с карбидом, который выделился по границам зерен, окруженный ферромагнитным трооститом [3].

В реальных условиях при охлаждении литых заготовок с разной толщиной стенок из расплава выпадают карбиды железа и марганца ( $Fe_3C$ ,  $Mn_3C$ ), их фосфиды ( $FeP$ ,  $MnP$ ) и незначительное количество нитридов ( $FeN$ ,  $MnN$ ). Образование фаз и структур при охлаждении высокомарганцевой стали 110Г13Л из жидкого состояния происходит по следующей схеме. В жидком металле находится железо, марганец и растворенные в них углерод, фосфор, азот; при медленном охлаждении литых заготовок из жидкого расплава вначале выпадает аустенит (А) (рис. 1). При температурах в интервале 850–1 000 °С из аустенита выпадают карбиды железа и марганца ( $Fe$ ,  $Mn$ ) $_3C$ , затем при температуре 400–550 °С в структуре появляется феррит (Fe $\alpha$ -фаза). Одновременно с карбидами начинают выделяться фосфиды железа и марганца ( $Fe$ ,  $Mn$ ) $_3P$ , небольшое количество нитридов ( $Fe$ ,  $Mn$ )N, которые сосредотачиваются в основном по границам зерен и некоторое количество внутри зерна. Чем медленнее охлаждается литая заготовка, тем больше толщина её стенок, больше содержание С, Р, N, О и выше температура заливки стали 110Г13Л, тем больше выпадает карбидов, фосфидов, нитридов, оксидов, марганца и железа по границам зерна аустенита, тем быстрее они коагулируют и становятся грубее, разупрочняя металл. При этом резко

падают прочностные ( $\sigma_B$ ,  $\sigma_T$ ), пластичные ( $\psi$ ,  $\delta$ ) и особенно вязкостные ( $a_n$ ) механические характеристики при плюсовых и особенно минусовых (отрицательных) температурах [4].

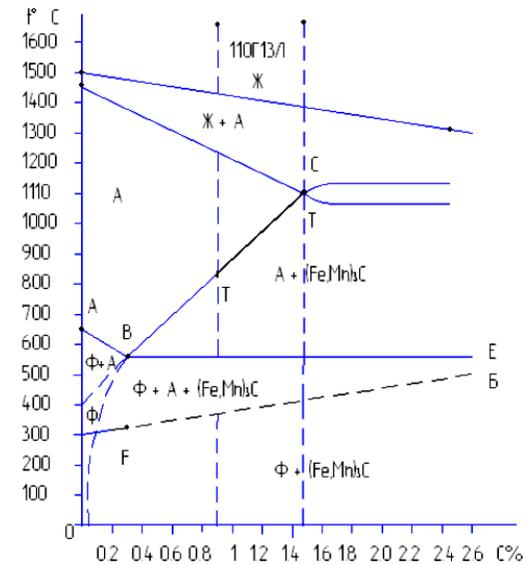


Рис. 1. Диаграмма Fe–Mn–C при 13 % марганца [4]

Наличия аустенитной структуры недостаточно для получения высоких механических свойств и износостойкости отливок. Установлено, что качество этой стали в значительной степени определяется величиной зерна аустенита. Более высокие показатели имеют мелкозернистые стали. В отливках из аустенитной стали, не имеющих фазовых превращений, получение мелкозернистой структуры может быть достигнуто только путем регулирования процессов кристаллизации жидкой стали [1].

Для повышения технологичности необходимо при литье обеспечить равномерное распределение легирующих элементов по сечению слитка, а также получить однородную мелкозернистую структуру.

Одним из способов решения вышеперечисленной проблемы является применение вибрационной обработки расплава в процессе кристаллизации.

В связи с этим **целью работы** было изучение влияния вибрационной обработки расплава в процессе кристаллизации на распределение легирующих элементов в стали 110Г13Л.

Для этого был проведен рентгеноспектральный анализ отливок из стали 110Г13Л, к которой подводилась механическая вибрация с частотой 20, 50, 100, 300 и 800 Гц. Результаты исследований показаны на рисунках 2–6.

Изучение образца без воздействия вибрации (рис. 2), показало скопление фосфидомарганцевых (MnP) включений, отороченных марганцем (Mn) и фосфидом железа (FeP). Это говорит о неравномерном распределении марганца (Mn) и фосфора (P). Также было замечено снижение содержания железа (Fe) на участке скопления фосфида (P). При этом увеличивается содержания фосфидомарганца (MnP).

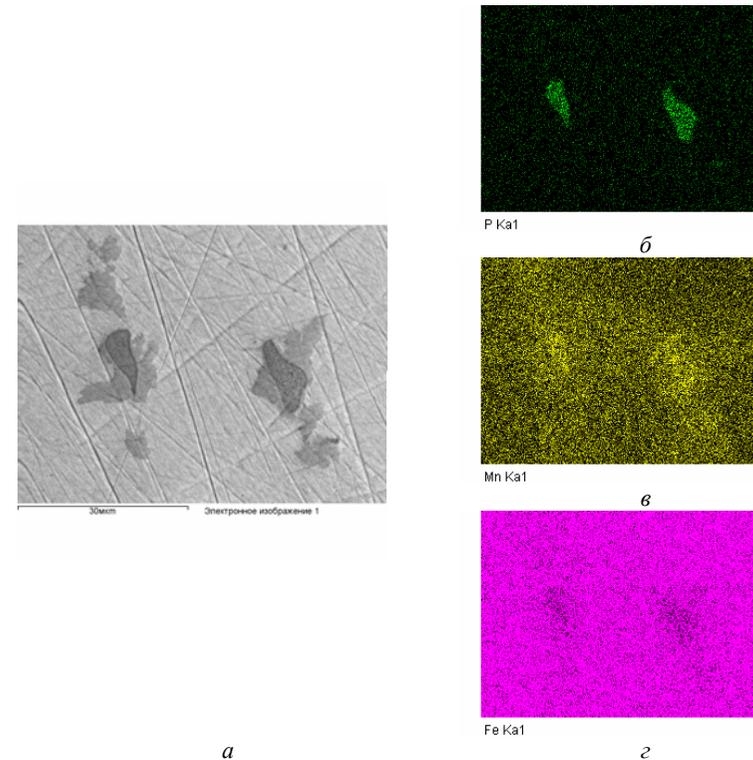


Рис. 2. Структура стали 110Г13Л:  
*а* – безвибрационного воздействия; *б* – распределение фосфора (P);  
*в* – распределение марганца (Mn); *г* – распределение железа (Fe)

При вибрационном воздействии с частотой 20 Гц (рис. 3), ярко выраженное скопление на границах зерен фосфидов железа (FeP) и фосфидов марганца (MnP). Можно сделать заключение о неравномерном распределении марганца (Mn) и фосфора (P), а также сказать, что вибрация частотой 20 Гц

распределяет включения по границам зерен. Что даёт возможность управлять положением неметаллических включений и снизить риск появления их в особо опасных местах при работе изделия.

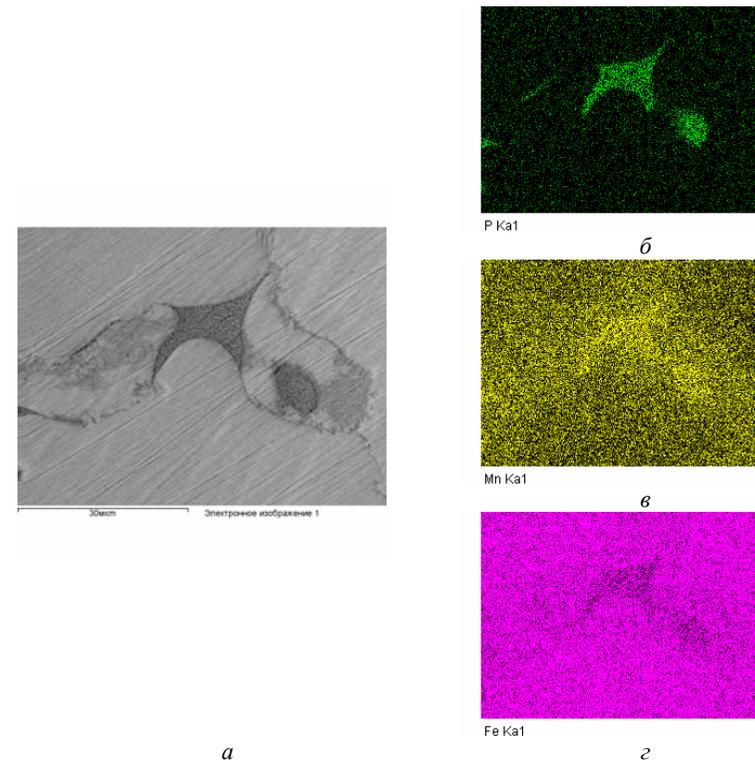


Рис.3. Структура стали 110Г13Л:

*a* – с вибрационным воздействием 20 Гц; *б* – распределение фосфора (P);  
*в* – распределение марганца (Mn); *г* – распределение железа (Fe)

На образце с частотой вибрационной нагрузки 50 Гц (рис. 4), видно распределение марганца (Mn), он почти равномерно распределен по химическому составу, но существуют некоторые участки, где поверхность более насыщена. Также можно сказать про железо (Fe). Данные анализа показали скопление фосфора (P). На образце выделенные фосфиды (P) приобретают полосчатость, таким образом, чередуя между собой фосфид железа (FeP) и фосфид марганца (MnP).

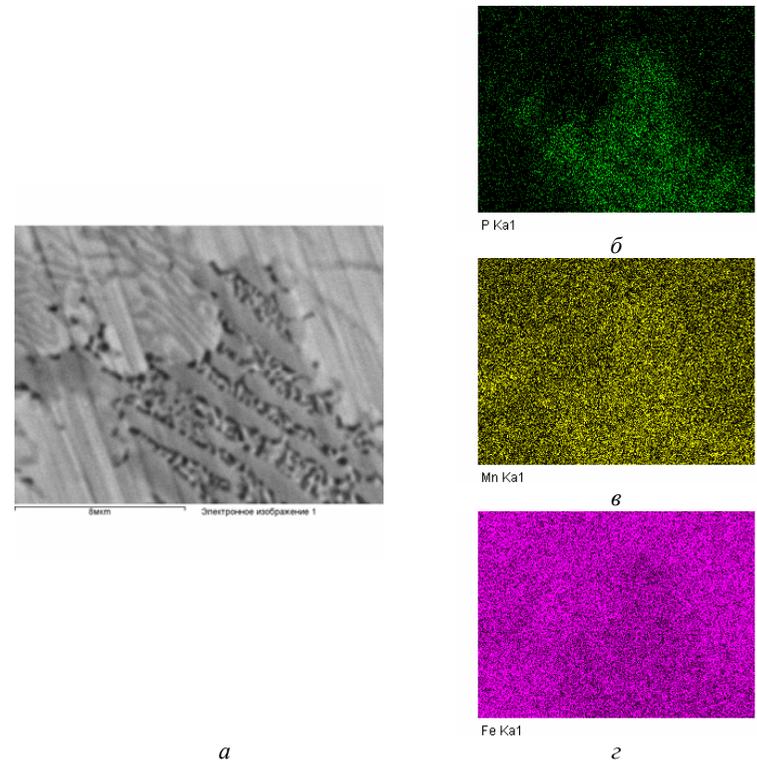


Рис.4. Структура стали 110Г13Л:

*a* – с вибрационным воздействием 50 Гц; *b* – распределение фосфора (P);  
*v* – распределение марганца (Mn); *z* – распределение железа (Fe)

Далее был рассмотрен образец с частотой вибрации в 100 Гц (рис. 5), обнаружено скопление фосфидов (P), с выделениями по его границам фосфида железа (FeP), который оторочен фосфидом марганца (MnP). Также есть образования карбида марганца ( $Mn_3C$ ). Опираясь на такие данные, логично предположить, что именно такое механическое воздействие позволяет им накапливаться.

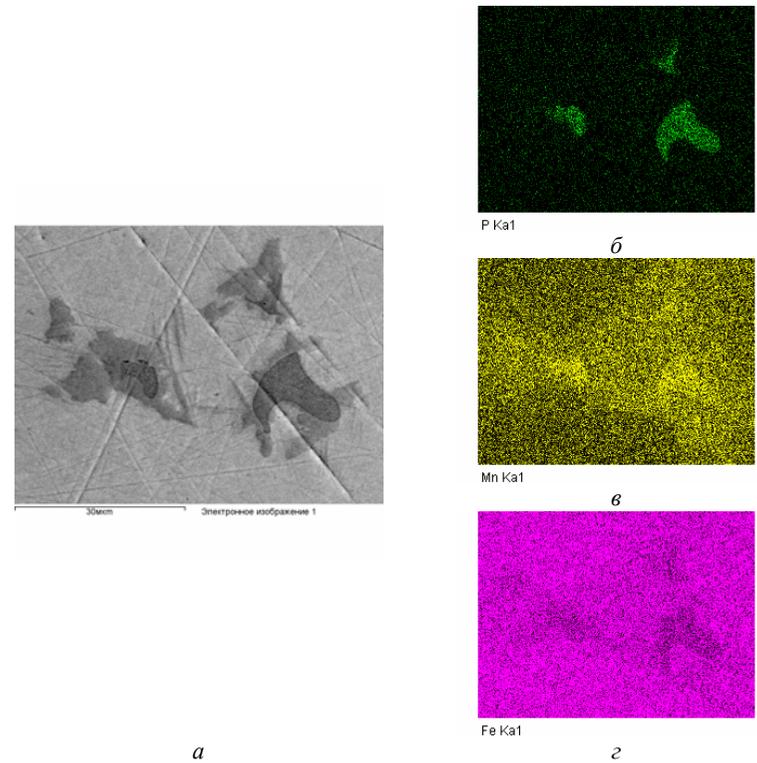
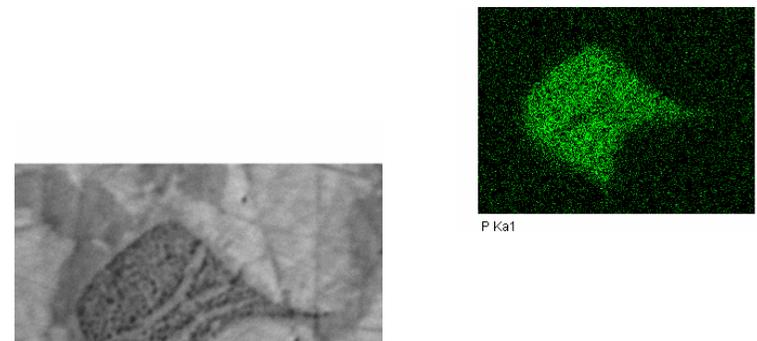


Рис. 5. Структура стали 110Г13Л:  
*a* – с вибрационным воздействием 100 Гц; *б* – распределение фосфора (P);  
*в* – распределение марганца (Mn); *г* – распределение железа (Fe)

Образец с частотой вибрационной нагрузки 300 Гц (рис. 6) показывает скопление фосфора (P), с выделениями по его границам фосфида железа (FeP), который оторочен фосфидом марганца (MnP) с небольшими проявлениями фосфида железа (FeP).



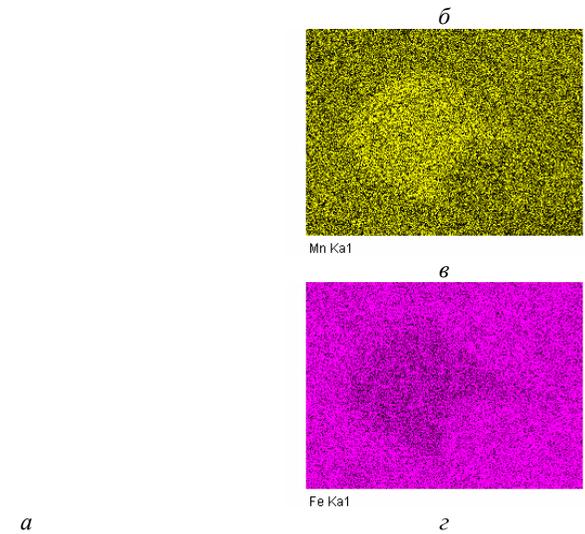
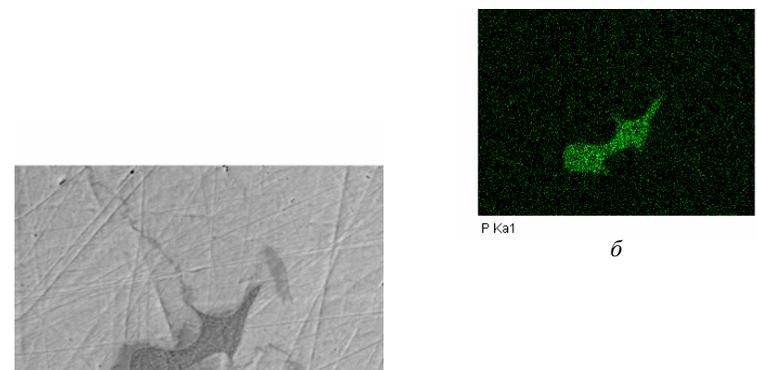


Рис. 6. Структура стали 110Г13Л:  
*a* – с вибрационным воздействием 300 Гц; *б* – распределение фосфора (P);  
*в* – распределение марганца (Mn); *г* – распределение железа (Fe)

На образцах с вибрационной нагрузкой в 800 Гц (рис. 7) присутствуют фосфидомарганцевые (MnP) включения, отороченных марганцем (Mn) и фосфидом железа (FeP). По границам зерна распределяется фосфид марганца (MnP).



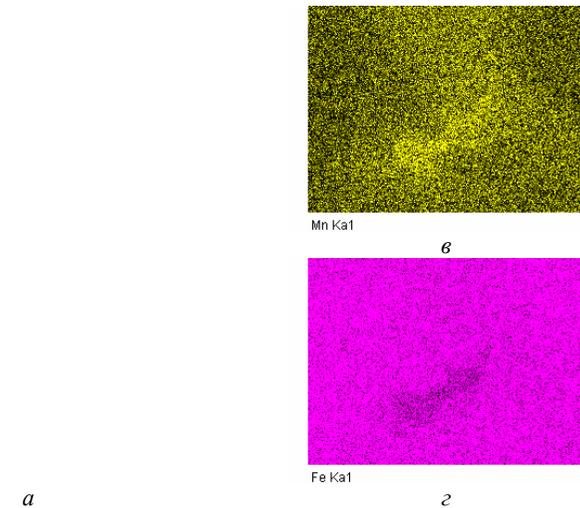


Рис.7. Структура стали 110Г13Л:  
*a* – с вибрационным воздействием 800 Гц; *b* – распределение фосфора (P);  
*c* – распределение марганца (Mn); *d* – распределение железа (Fe)

Во всех образцах было замечено снижение содержания железа (Fe) на участке скопления фосфидов (P). При этом содержания фосфидомарганца (MnP) увеличивается.

Можно сделать **вывод**, что вибрационное воздействие не повлияло на равномерное распределение по химическому составу таких элементов как: C, Si, Cr, Ni. При этом распределение марганца (Mn), железа (Fe) и фосфора (P) изменилось.

По итогам исследования можно сказать, что вибрационное воздействие с частотой в 50 Гц является самым результативным по распределению химического состава. Оно практически выравнивает распределение марганца (Mn) и железа (Fe), чего нельзя сказать о фосфоре (P).

#### Литература

1. Высокомарганцевая сталь [Текст] // Режим доступа <http://www.zavodu.net/>
2. Гольдштейн М. И. Специальные стали: учеб. для вузов / М. И. Гольдштейн, С. В. Грачев, Ю. Г. Векслер. – М. : Металлургия, 1985. – 408 с.
3. Цывинда Н. И. Определение методов механической обработки деталей горного оборудования из высокомарганцевитых сталей / Н. И. Цывинда, А. Н. Кирсанов // Сб. науч. тр. «Ресурсозберігаючі

технології виробництва та обробки тискоматеріалів у машинобудуванні». – Луганск, 2009. – С.352–359.

4. Волков В. Н. Влияние структуры высокомарганцевой стали 110Г13Л на магнетизм и механические свойства отливок / В. Н. Волков, А. Б. Дибров, П. П. Андронов / Вестник ВКГТУ. – Усть-Краматорск, 2005. – № 1. – С. 8–14.

УДК 669.017.16:639.2:620.18

**Влияние вибрационных воздействий с различной частотой на распределение легирующих элементов в стали 110Г13Л / В. И. Большаков, Н. А. Ротт, Е. А. Ванина // Металлознание та термічна обробка металів : науков. та інформ. журнал // Д. : ДВНЗ ПДАБА, 2014. – № 1. – С. – Рис. 7. – Бібліогр. : (4 назви).**

В статье рассматривается влияние механических колебаний на распределение легирующих элементов в стали Гадфильда. Показаны зависимости структурообразования стали от частоты колебаний расплава в процессе кристаллизации.

У статті розглядається вплив механічних коливань на розподіл легуючих елементів в сталі Гадфілда. Показані залежності структуроутворення сталі від частоти коливань розплаву в процесі кристалізації.

The article examines the influence of mechanical vibrations on the distribution of alloying elements in Hadfield steel. Shown steel according structuring the frequency of oscillation of the melt during solidification.