

- Зб. наук. пр. Вип. 21. – Рівне. МОН України, НУВГП, 2011. – С. 136–143.
4. Білик С.І. Білик А.С., Усенко М.В., Апроксимація діаграми розтягу сталі степеневою функцією. // Современные строительные конструкции из металла и древесины// Сборник научных трудов №15, часть3.-Одеса. МОН України, ОДАБУ,2011.-С.3-9.
  5. Wei-Wen Yu, Ph.D., P.E. Cold-formed steel design. by John Wiley & Sons, Inc. New York, 2000-750 p.
  6. Голоднов А.И., Полишко С.Н. Экспериментальные исследования внецентренно-сжатых сварных двутавровых образцов-колонн. // Вісник Придніпр. держ. академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2004, № 1. – С. 43-50.

УДК 669.017.16:639.2:620.18

### ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ВИБРАЦИИ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ОТЛИВОК ИЗ СТАЛИ 110Г13

*Д. т. н., проф. В.И. Большаков, д. ф-м. н., проф. Г.М. Воробьев,  
к. ф-м. н., доц. Л.С. Кривуша, асс. Н.А. Ротт  
ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры»*

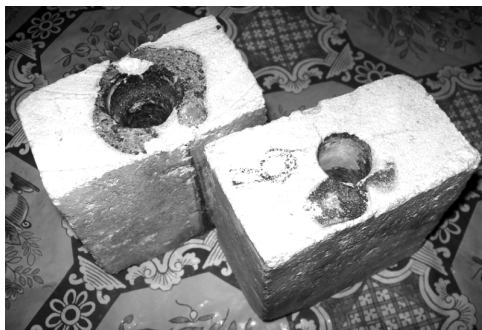
**Постановка проблемы в общем виде.** В литературе имеется достаточно много информации о положительном влиянии механической вибрации на свойства металлических отливок [1–8]. Особенно это относится к отливкам из легких сплавов на основе алюминия. Причем положительное влияние вибрации отмечается как на алюминиевых сплавах, так и на достаточно чистом алюминии. При такой обработке наблюдается уменьшение газонасыщенности, измельчение зерна, снижение пористости и связанное с этим повышение механических свойств [1–8]. Имеются данные об усилении измельчения зерна при непосредственном подведении механической вибрации к жидкому металлу, залитому в литейную форму, в течение всего периода кристаллизации. Однако, в промышленности эти методы пока не получили широкого применения.

**Анализ последних исследований.** Отливки из стали 110Г13 находят широкое применение в различных отраслях промышленности. Из них изготавливают зубья и ковши экскаваторов, щеки и конуса камнедробилок и рудодробилок, ножи толкающих устройств бульдозеров и т. д. Согласно литературным данным измельчение зерна в отливках из стали 110Г13 одновременно повышает и прочностные и пластические свойства этого материала. В работе [9] для вибрационного улучшения качества металлических отливок предложено использовать малогабаритные вибраторы, в то время как общепринятым считается целесообразность наращивания мощности вибрации для усиления эффекта обламывания

растущих дендритов при кристаллизации. Использование маломощных вибраторов авторы [9] обосновывают тем, что измельчение зерна отливок может достигаться за счет увеличения числа зародышей кристаллизации, возникающих при взаимодействии кластеров жидкого расплава, колебания атомов которых отличается по фазе на  $\sim \pi/4$ .

**Постановка задачи в общем виде.** В связи с этим в настоящей работе рассмотрено влияние вибрации от малогабаритного вибратора мощностью 13 Вт, которая подводилась к кристаллизующейся стали 110Г13 через плотный теплоизоляционный материал – магнезит.

Для реализации таких условий механического вибрационного воздействия на жидкую сталь 110Г13 магнезитовый кирпич был разрезан пополам, и в обеих половинках были сделаны цилиндрические углубления как показано на рисунке 1.



*Рис. 1. Литейные формы из магнезитового кирпича*

От малогабаритного вибратора, лечебного типа, с частотой колебаний 50 Гц, вибрация подводилась к магнезитовому блоку со стороны противоположной той, на которой располагалось углубление для заливки жидкого металла. Высокая плотность магнезита обеспечивала подвод вибрационной энергии к жидкому металлу без существенных потерь при прохождении через магнезит, а большое расстояние от дна углубления, т. е. от нижней поверхности жидкого очень горячего металла до вибратора, исключало повреждение вибратора в процессе эксперимента.

На рисунке 2 показана загрузка шихты из стали 110Г13 в алундовый тигель, на рисунке 3 – плавильная печь, а на рисунке 4 – макроструктуры стали 110Г13, полученные при воздействии вибрации и без нее.



*Рис. 2. Загрузка шихты из стали 110Г13 в алундовый тигель*



*Рис. 3. Плавильная печь Таммана*



*а*



*б*

*Рис. 4. Макроструктура стали 110Г13:  
а – без вибрационного воздействия при кристаллизации;  
б – с вибрационным воздействием в процессе кристаллизации*

Макроструктура слита, закристаллизовавшегося без вибрации (рис. 4 а), имеет широко известный из литературы вид: с зоной столбчатых дендритов, ориентированных перпендикулярно поверхности кристаллизации, и крупных равноосных дендритов по центру отливки [10]. Воздействие же вибрации (рис. 4 б) полностью разрушает эту макроструктуру, дендриты измельчаются и становятся более равноосными с однородным распределением их по сечению слитка.

В процессе переплавки стали 110Г13 промышленного производства в наших лабораторных экспериментах могло происходить обезуглероживание стали при ее расплавлении и заливки в литейную форму. При этом химический состав лабораторных отливок мог оказаться несоответствующим требованиям ГОСТ 977–88 на эту сталь. В связи с этим нами был проведен химический анализ лабораторных отливок, который приводится в таблице 1.

*Таблица 1*  
*Химический состав лабораторных отливок из стали 110Г13*

Состав в %	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	S	P
110Г13	0,93	12,8	0,90	0,4	0,2	0,100	0,045	0,10

Эта таблица свидетельствует о том, что отливки удовлетворяли требования ГОСТ 977–88.

Лабораторные отливки из стали 110Г13 были подвергнуты термической обработке, в соответствии с требованиями ГОСТ 21357–87: они нагревались до температуры 1100 °С с выдержкой в течении 4 часов с последующей закалкой в воде. После термообработки из отливок вырезали образцы для механических испытаний на ударную вязкость и растяжение для определения предела прочности, предела текучести, относительного сужения и относительного удлинения. Результаты этих испытаний приведены в таблице 2.

*Таблица 2*  
*Механические свойства аустенитной стали 110Г13*

Сталь 110Г13	KCU, Дж/см <sup>2</sup>	σ <sub>B</sub> , МПа	σ <sub>0,2</sub> , МПа	δ, %	ψ, %
Без вибрации	170	840	330	28	30
С вибрацией	200	925	365	35	36

Эта таблица свидетельствует о том, что вибрационное воздействие на сталь 110Г13 в процессе кристаллизации существенно улучшило механические свойства.

В производственных условиях использование малогабаритных вибраторов для улучшения механических свойств стали 110Г13 с подводом энергии механической вибрации без существенного затухания к залитому в литейную форму металлу может быть совмещено с применением

холодильников, которые также измельчают зерно, закристаллизовавшейся стали 110Г13. Для этого вибратор может быть прикреплен к холодильнику через плотную магнетитовую прослойку.

**Выводы.** Установлено, что использование малогабаритных вибраторов, закрепленных на магнетитовой изложнице, позволяет практически полностью изменить макроструктуру отливки из этой стали, измельчить дендриты и существенно повысить механические свойства отливок.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Silicon morphology modification in the eutectic Al-Si alloy using mechanical mold vibration: [Text] / N. Abu-Dheir, M. Khraisheh, K. Saito, A. Male // Mater. Sci. Engg. Vol A393. – 2005. – P. 109-117.
2. **Campbell J.** Effects of vibration during solidification: [Text] / J. Campbell // International Metals reviews. Vol 26. – 1981. – N 2. – P. 71-108.
3. **Fisher T. P.** Effect of vibrational energy on the solidification of aluminum alloys: [Text] / T. P. Fisher, A. Met, M. Met // British Foundryman. Vol. 66. – 1973. – N 3. – P. 71-84.
4. **Deshpande J.** The Effect of Mechanical Mold Vibration On Characteristics of Aluminum Alloys: Degree of Master of Science in Manufacturing Engineering: A Thesis Submitted to the Faculty of Worcester Polytechnic Institute: [Text] / Jayesh Deshpande. – Worcester, 2006. – 113 p.
5. **Pillai R. M.** A simple inexpensive technique for enhancing density and mechanical properties of Al-Si alloys: [Text] / R.M. Pillai, Biju K.S. Kumar, B.C. Pai // Journal of Materials Processing Technology. Vol. 146. – 2004. – N 3. – P. 338-348.
6. **Kokatepe K.** Effect of low frequency vibration on macro and micro structure of LM6 alloys: [Text] / K. Kokatepe, C. F. Burdett // J. of Mater. Sci. and Eng. Vol. 35. – 2000. – P. 3327-3335.
7. **Abu-Dheir N.** Solidification of aluminum alloys: [Text] / N. Abu-Dheir // TMS. – 2004. – P. 361-368.
8. **Bast J.** Influence of vibration during solidification of molten metals on structure and casting properties: [Text] / J. Bast, J. Hübler, C. Dommaschk // Advanced engineering materials. Vol. 6. – 2004. – N 7. – P. 550-554.
9. Некоторые возможности повышения качества металлических отливок / Большаков В.И., Воробьев Г.М., Ротт Н.А., Линник Р.Я., Бушуев Б.Г. // Теория и практика металлургии. – 2011. – № 1-2 (80-81). – С. 15-19.
10. **Гуляев А.П.** Материаловедение: Учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.