

УДК 621.746.6

DOI: 10.15587/2312-8372.2019.167985

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУЩЕСТВЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ МОДИФИЦИРОВАНИЯ В СОСТАВЕ КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВИБРООБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВА АК7

Селиверстов В. Ю., Доценко Н. В., Доценко Ю. В., Доценко В. П.

1. Введение

Внешние воздействия на сплавы базируются на использовании разных физических принципов, например:

– комплексной обработки жидких силуминов в магнитодинамической установке (МДУ) [1], позволяющей устранить ликвацию, измельчить структурные составляющие до- и заэвтектических силуминов, увеличить относительное удлинение сплавов;

– обработки нарастающим давлением и модифицированием [2], обеспечивающим комплексное воздействие на микро- и макроструктуру сплава;

– комплексной обработки вибрацией и направленной кристаллизацией [3], позволяющей повысить механические свойства за счет измельчения зерна.

Возможности регулирования процессов формирования структуры в процессе вибрации были отмечены в работах [4, 5]. Показано, что при воздействии на металл при помощи электрического вибратора следует учитывать экономические аспекты внедрения подобных технологических решений [6]. В [7, 8] описаны варианты технологических внедрений процесса вибрации для заливки в кокилях роторов электродвигателей тягового привода. Отмечается, что применение выбранных режимов в практике заливки роторов позволяет свести к минимуму вероятность образования внутренней пористости, обеспечивая этим самым лучшие тяговые характеристики. Поэтому актуальным является применение комплексности подхода в воздействии на жидкий металл. Таким образом, *объектом исследования* является сплав АК7, который подвергается комплексному действию вибрации и модифицирования в процессе производства цилиндрических заготовок способом литья в кокиль. *Целью* – математически подтвердить или опровергнуть влияние модифицирования, как части комбинированного процесса обработки расплава вибрацией, на механические свойства сплава.

2. Методика проведения исследований

За основу для анализа были взяты экспериментально-промышленные данные, полученные в условиях литейного цеха ПАТ «Днепропетровский агрегатный завод» (Украина) [9]. Плавка сплава марки АК7 выполнялась в печи САТ–04. Заливку осуществляли в стальной вытряхной кокиль средним диаметром 60 мм с толщиной стенки 5 мм и высотой рабочей полости 150 мм. Предварительно рабочая полость кокиля подогревалась до 380–400 °С и покрывалась краской на основе дистенсилиманита. Подогретый кокиль с

нанесенным защитным покрытием устанавливался и закреплялся на вибрационной установке, обеспечивающей после заливки режим вибрационного воздействия с амплитудой 0,7 мм при частоте 100 Гц, 150 Гц, 200 Гц. Заливка расплава в кокиль осуществлялась при температуре 720 ± 5 °С.

В процессе вибрации на указанных частотах проводилось две серии экспериментов:

Серия 1: Заливка немодифицированного и модифицированного препаратом «Turphoon-Z» (0,1 мас. %) сплава.

Серия 2: Заливка немодифицированного и модифицированного сплава в кокиль без вибрации.

После охлаждения залитых образцов измерялись механические свойства и плотность сплава. Подробно методика эксперимента описана в работе [9].

На основе полученных данных формировалась таблица результатов, на основании которой проводился регрессионный анализ с использованием среды электронных таблиц Excel. Задача состояла в том, чтобы определить влияние модифицирования на свойства сплава как дополнительного фактора воздействия, совместно с вибрацией.

3. Результаты исследований и обсуждение

На рис. 1–5 приведены результаты регрессионного анализа, имеющего целью выявить влияние частоты вибрации на свойства сплава для каждого технологического режима – вибрация и вибрация+модифицирование.

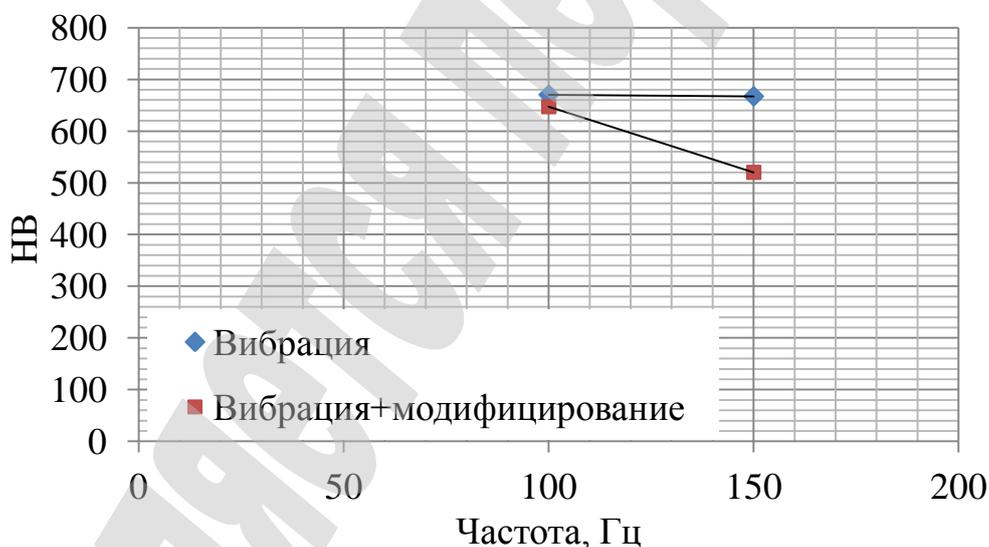


Рис. 1. Зависимость $HV=HV(f)$

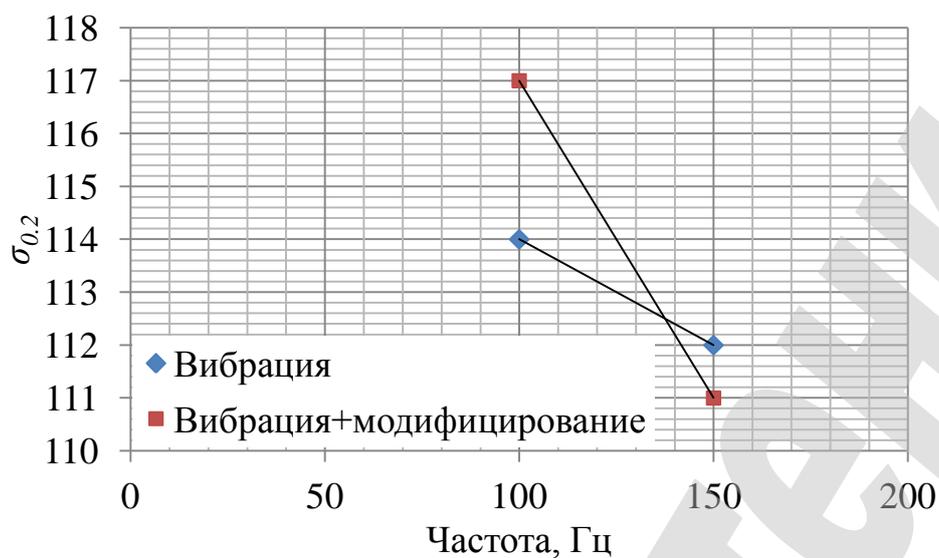


Рис. 2. Зависимость $\sigma_{0.2}=\sigma_{0.2}(f)$

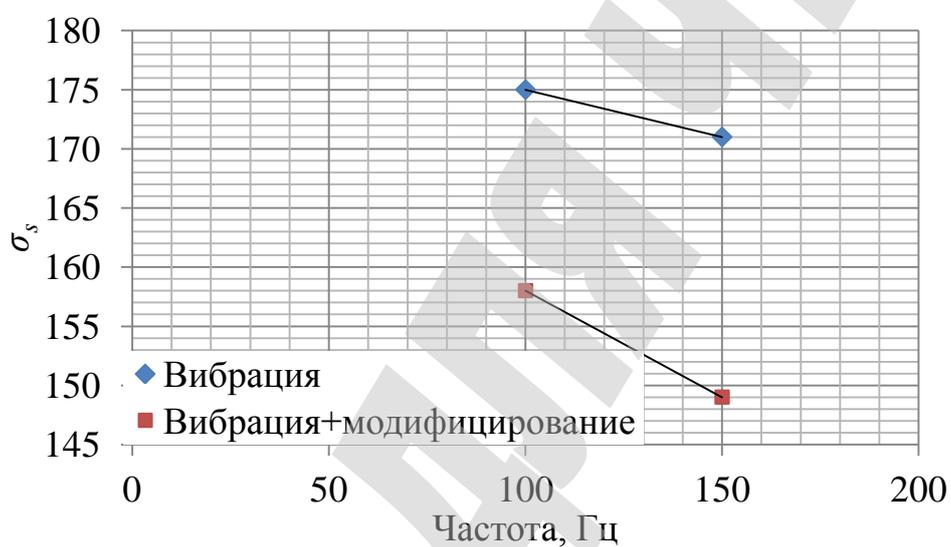


Рис. 3. Зависимость $\sigma_s=\sigma_s(f)$

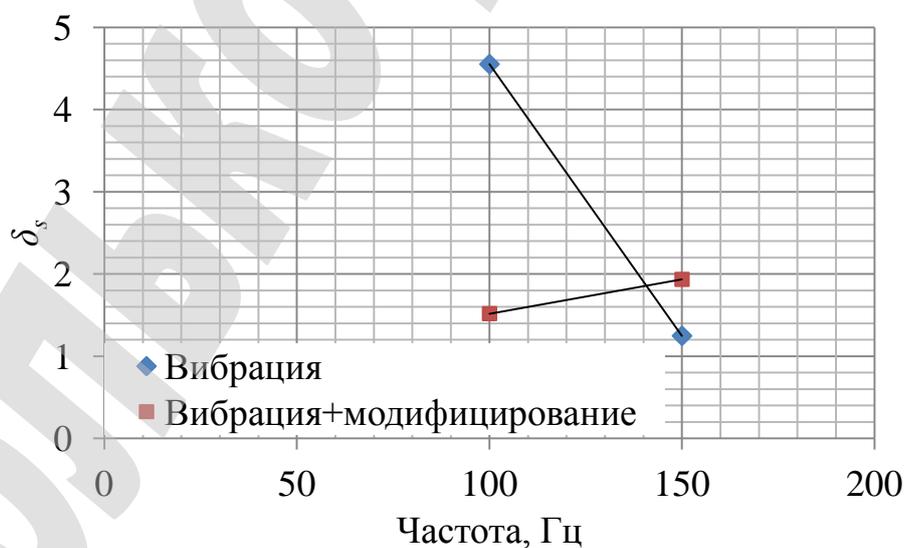


Рис. 4. Зависимость $\delta_s=\delta_s(f)$

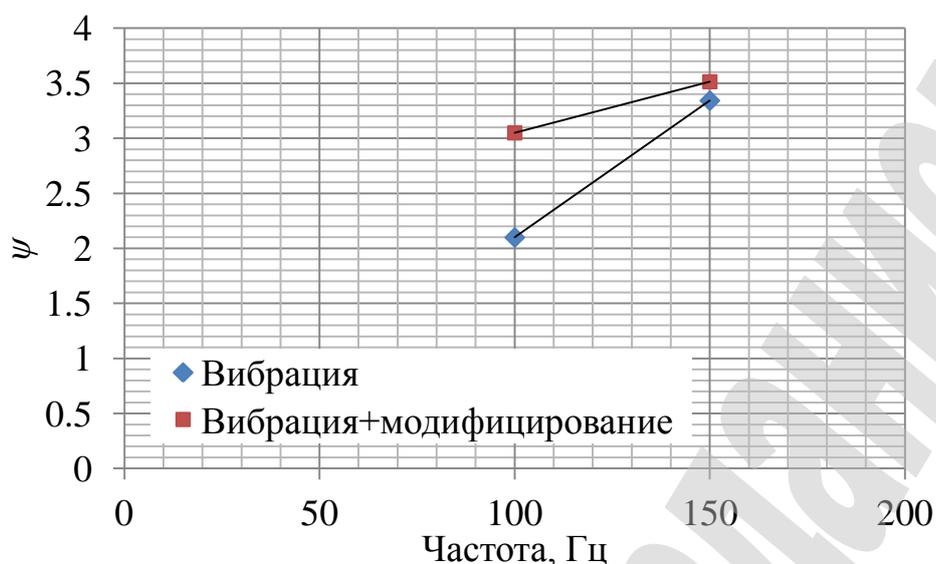


Рис. 5. Зависимость $\psi = \psi(f)$

Рис. 1–5 показывают, что ответ на вопрос о значимом влиянии модифицирования как дополнительного фактора неоднозначен. Так, из рис. 1 видно, что модифицирование снижает твердость сплава в сравнении с обработкой вибрацией. Такой же вывод можно сделать относительно σ_s (рис. 3). Однако модифицирование повышает $\sigma_{0.2}$, но лишь до частоты 140 Гц, превышение частоты приводит к худшим результатам по сравнению с обычной обработкой вибрацией. Положительное влияние на δ_s оказывает модифицирование лишь в том случае, когда частота превышает 140 Гц (рис. 4). По отношению к ψ можно сказать, что во всем диапазоне частот вибрации действие модификатора повышает эту характеристику сплава (рис. 5).

Необходимо отметить, что графики (рис. 1–5) получены для средних значений свойств сплава (математических ожиданий). Математические ожидания были рассчитаны как среднее по параллельным измерениям ($n=2$ или $n=3$). Разность величины выборки и особенности объекта исследования приводят к тому, что величины дисперсий не могут быть определены с достаточной точностью. Можно говорить об оценке дисперсий, которые следует учитывать при сравнении двух технологических режимов – обработкой сплава чистой вибрацией и комбинированной обработкой вибрация+модифицирование. Поэтому перспективой развития данного исследования можно считать необходимость применения дисперсионного анализа [10]. Известные результаты работы [11], посвященные применению дисперсионного анализа для оценки значимости влияния модифицирования на качество сплава, позволяют считать его обоснованным для рассматриваемой задачи. Задача в этом случае сводится к тому, чтобы установить, значимо ли влияние модифицирования на повышение механических свойств и плотность сплава в процессе виброобработки. Алгоритм процедуры заключается в следующем. Рассчитываются групповые средние содержания величин $y^{(i)}$ для сплава, не обработанного модификатором ($y^{(i0)}$) и обработанного модификатором ($y^{(i1)}$):

$$\overline{y_{j,zp}^{(i0)}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{j,i}^{(i0)}, \quad (1)$$

$$\overline{y_{j,zp}^{(i1)}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_{j,i}^{(i1)}, \quad (2)$$

где $\overline{y_{j,zp}^{(i0)}}$, $\overline{y_{j,zp}^{(i1)}}$ – средние групповые значения свойств немодифицированного и модифицированного сплава, соответственно; n – число параллельных результатов измерений свойств сплава; $y_{j,i}^{(i0)}$, $y_{j,i}^{(i1)}$ – значения свойств в каждом из параллельных измерений немодифицированного и модифицированного сплава, соответственно.

Рассчитывается остаточная дисперсия:

$$S_{ост}^2 = \frac{1}{(nk - k)} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \left(y_{j,i}^{(i)} - \overline{y^{(i)}} \right)^2, \quad (3)$$

где k – число уровней; $k=2$ (первый уровень – немодифицированный сплав, второй уровень – модифицированный сплав); $y_{j,i}^{(i)}$ – значение свойства сплава в каждом эксперименте; $\overline{y^{(i)}}$ – общее среднее значение i -го свойства сплава, определяемое по формуле:

$$\overline{y^{(i)}} = \frac{1}{k} \left(\sum_{j=1}^k \overline{y_{j,zp}^{(i)}} \right). \quad (4)$$

Рассчитывается факторная дисперсия:

$$s_{факт}^2 = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \left(\overline{y_{j,zp}^{(i)}} - \overline{y^{(i)}} \right)^2, \quad (5)$$

где $\overline{y_{j,zp}^{(i)}}$ – средние групповые значения свойств сплава, определяемые для немодифицированного и модифицированного сплавов по формулам (1), (2), соответственно.

При выполнении условия:

$$F = \frac{S_{факт}^2}{S_{ост}^2} > F_{кр}, \quad (6)$$

действие модификатора на i -е свойство сплава следует признать значимым. В противном случае влияние фактора считается несущественным. При этом с помощью t -критерия Стьюдента определяется уровень, начиная с которого проявляется его влияние. Однако, для этого требуется проведение дополнительных экспериментальных исследований с разным количеством вводимого модификатора.

4. Выводы

В ходе исследования показано, что применение ультрадисперсного модификатора как дополнительного технологического этапа к виброобработке сплава системы АК7 способом литья в кокиль повышает величину ψ во всем диапазоне исследованных частот вибрации (100–150 Гц), но уменьшает НВ и σ_s . В диапазоне частот 100–140 Гц модифицирование повышает $\sigma_{0,2}$, однако при превышении частоты значения 140 Гц положительное действие модификатора прекращается и его применение становится необоснованным в отношении данной характеристики сплава. Обратный эффект установлен в отношении влияния модификатора на δ_s – применение модификатора обосновано лишь в диапазоне частот вибрации 140–150 Гц. Для уточнения полученных результатов необходимо проведение дисперсионного анализа, что потребует проведения дополнительных экспериментов.

Полученные результаты позволяют говорить о конкурирующих критериях в свойствах сплава и необходимости компромиссного решения задачи выбора рациональных технологических режимов обработки сплавов АК7 при изготовлении цилиндрических заготовок литьем в кокиль.

Література

1. Комплексная обработка сплавов системы Al-Si в магнитодинамической установке с последующей интенсивной пластической деформацией: влияние на свойства и структуру / Скоробагатько Ю. П., Слажнев Н. А., Березина А. Л., Монастырская Т. А., Давиденко А. А., Спусканюк В. З. // Процессы литья. 2010. № 5. С. 83–88.
2. Доценко Ю. В., Селиверстов В. Ю. Особенности затвердевания отливок из алюминиевых сплавов при нарастающем давлении и модифицировании // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2012. № 1/5 (55). С. 18–22.
3. Effect of Lateral Vibrations during Directional solidification on Mechanical Properties of Al-18%wt Si Alloys / Ramesh Babu N., Ramesh M., Kiran Aithal S., Kotresh K. // Materials Today: Proceedings. 2018. Vol. 5, Issue 2. P. 6954–6962. doi: <http://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.358>
4. Dommasch C. Beitrag zur Gefügebeeinflussung erstarrender Metallschmelzen durch Vibration. TU Bergakademie Freiberg, 2003. 134 p.
5. Buxmann K. Auswirkung von Schock, Vibration und Strömung auf die Erstarrung von Metallen // Zeitschrift Metallkunde. 1972. Vol. 63, Issue 9. P. 516–521.
6. Котова Ю. В., Котов Р. Н., Баст Ю. Внедрение и анализ вибрации при непрерывном литье заготовок из драгоценных металлов // Вестник Пермского

государственного технического университета. Машиностроение, материаловедение. 2010. Т. 12, № 4. С. 80–84.

7. Акимов О. В., Чибичик О. А., Редькина А. В. Совершенствование технологических процессов изготовления литых деталей роторов для повышения эксплуатационных характеристик тягового электропривода // Проблемы машиностроения. 2014. № 16 (5). С. 7–12.

8. Чибичик О. А., Мартыненко В. Ф., Акимов О. В., Шишко А. Е. Методология конструкторско-технологического проектирования и изготовления короткозамкнутого литого ротора для асинхронных электродвигателей // Металл и литье Украины. 2011. № 2 (213). С. 30–34.

9. Селиверстов В. Ю., Доценко Ю. В., Доценко Н. В. Комплексний вплив модифікування ультрадисперсним препаратом та вібрацією на властивості металу виливків із сплаву системи Al–Si // Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра: матеріали XVI Всеукраїнської науково-практичної конференції, Київ, 17 квітня 2018 р. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. С. 336–345.

10. Чарыков А. К. Математическая обработка результатов химического анализа: учеб. пособие. Ленинград: Химия, 1984. 168 с.

11. Demin D. A. Change in cast iron's chemical composition in inoculation with a Si-V-Mn master alloy // Litejnoe Proizvodstvo. 1998. Vol. 6. P. 35.