

**ВЛИЯНИЕ КАВИТАЦИИ НА ДИСКОВЫЙ ЗАВИХРИТЕЛЬ ДЛЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ
РАСПЛАВЛЕННОГО АЛЮМИНИЯ И ЧАСТИЦ МОДИФИКАТОРА**

М.Г. Хмелева, А.Б. Тохметова

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. Л.Л. Миньков
Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Россия, г.Томск, пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: khmelmg@gmail.com

**CAVITATION INFLUENCE ON DISK AGITATOR FOR MIXING MOLTEN ALUMINIUM AND
MODIFIER PARTICLES**

M.G. Khmeleva, A.B. Tokhmetova

Scientific Supervisor: Prof., Dr. L.L. Minkov
Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050
E-mail: khmelmg@gmail.com

***Abstract.** In this study we assess the conditions in which cavitation occurs while stirring the molten aluminum with the modifier particles by means of disk agitator.*

Введение. К настоящему времени разработаны различные технологии дополнительного легирования и модифицирования промышленных алюминиевых сплавов, которые достигли определенного уровня, и дальнейшая попытка их совершенствовать не позволяет получать требуемый результат [1]. Альтернативным способом (технологией) воздействия на расплавленный металл является специально разработанное перемешивающее устройство [2], которое за счет комплексного воздействия вибрации, механического перемешивания и введения наночастиц модификаторов (оксидов, боридов и т.д.) в расплавленный металл позволяет повысить качество металла. Устройство состоит из дискового завихрителя (рис. 1 а) и источника вращения. Размеры отверстий в дисках подобраны так, чтобы при работе устройства в тигле при температуре расплава 720-780°C расплавленный металл мог проходить через отверстия.

Целью данного исследования является оценка режимов работы перемешивающего устройства [2], при которых в расплавленном алюминии под действием дискового завихрителя возникает гидродинамическая кавитация.

Описание проблемы. На рис. 1 б) показан завихритель после 5 минут работы в промышленном тигле емкостью 100 литров с расплавленным алюминием при температуре 750°C и частоте вращения 2500 об/мин. Как видно из рисунка, все рассекатели отсутствуют. Края дисков «съедены». Учитывая, что температура плавления титана, из которого выполнен завихритель, около 1500°C, температурное воздействие расплавленного алюминия не может являться причиной разрушения завихрителя. К тому же, структура поверхности дискового завихрителя типична для поверхности, испытавшей кавитационное воздействие.

Известно, что кавитация возникает при течении жидкости вокруг плохо обтекаемых тел, когда

статическое давление в жидкости оказывается меньше парциального давления насыщенных паров и растворенных газов. За условия возникновения гидродинамической кавитации отвечает критерий кавитации, определяемый выражением [1, 3]: $\kappa = (P_1 - P_{\text{нп}}(T)) / (0,5\rho V^2)$, где ρ – плотность жидкого металла, V – скорость жидкого металла, P_1 – статическое давление; $P_{\text{нп}}$ – давление насыщенных паров металла при температуре T .



а)



б)

Рис. 1. Дисковый завихритель.
 а – до действия кавитации; б – после действия кавитации.

Гидродинамическая кавитация возникает в том случае, если значение критерия кавитации меньше единицы. Оценим критерий кавитации для рассматриваемого завихрителя.

Давление насыщенных паров на поверхности раздела фаз жидкость-пар подчиняется закону [4]:

$$P_{\text{нп}}(T) = P_1 \cdot \exp\left(\frac{L}{R_y} \left(\frac{1}{T_{\text{кип}}} - \frac{1}{T}\right)\right),$$

Результаты исследования. Примем теплоту испарения алюминия $L = 2.943 \cdot 10^5$ Дж/(моль), температуру кипения алюминия при нормальных условиях $T_{\text{кип}} = 2723$ К. Здесь универсальная газовая постоянная $R_y = 8,31$ Дж/(моль·град), атмосферное давление $P_1 = 101325$ Па. Пусть температура расплавленного алюминия равна 750°C ($T = 1023$ К), плотность жидкого алюминия – 2700 кг/м³, внешний радиус диска завихрителя $R = 0.04$ м. При скорости оборотов мешалки в минуту – n , угловая скорость вращения равна $2\pi n/60$, а окружная скорость края диска равна $2\pi nR/60$. Тогда число оборотов, при котором возникает кавитация, определится неравенством:

$$n > n_{\text{кр}}(T, R) = \frac{60}{2\pi R} \sqrt{2 \frac{P_1 - P_{\text{нп}}(T)}{\rho}}.$$

На рис. 2 показана зависимость критического числа оборотов от температуры расплавленного алюминия. Область, лежащая выше кривой, это область возникновения кавитации, а ниже – отсутствие кавитации. Для радиуса диска 40 мм, скорость вращения выше 2100 об/мин приводит к кавитации при

любых значениях температуры, а для радиуса диска 75 мм таковой является скорость вращения выше 1100 об/мин.

На рис. 3 показана зависимость критического числа оборотов от радиуса диска завихрителя. Область, лежащая выше кривой, соответствует области возникновения кавитации, а ниже – отсутствие кавитации. При изменении температуры алюминия от температуры плавления 660 °С до 2000 °С положение кривой зависимости критического числа оборотов мешалки от радиуса диска изменяется слабо, а при больших температурах – 2200°С и выше смещение этой кривой становится заметным. Из графика видно, что для радиуса диска меньше 26 мм – 27 мм кавитация не будет иметь место при изменении температуры в диапазоне от 660 °С до 2000 °С.

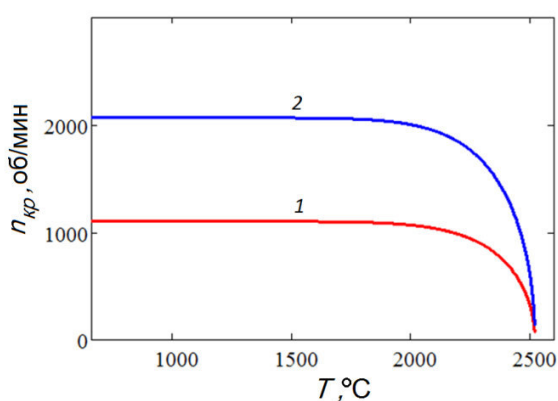


Рис. 2. Зависимость критического числа оборотов от температуры металла.
1 – $r = 0,075$ м, 2 – $r = 0,04$ м.

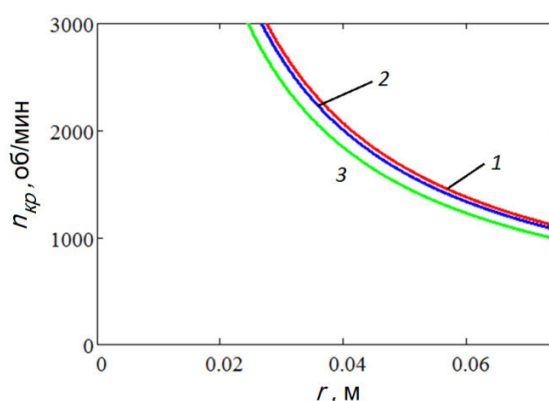


Рис. 3. Зависимость критического числа оборотов от радиуса диска.
1 – $T = 660$ °С, 2 – $T = 2000$ °С, 3 – $T = 2200$ °С,

Выводы. Показано, что причиной разрушения дискового 40 мм завихрителя, вращающегося со скоростью 2500 об/мин, является гидродинамическая кавитация. Увеличение диаметра дискового завихрителя позволяет уменьшить число оборотов источника вращения, при котором возникает кавитация. Поскольку явление кавитации является благоприятным для дегазации расплавленного металла, то для предотвращения кавитационного разрушения завихрителя требуется нанесение на его поверхность специального защитного покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефимов В.А., Эльдарханов А.С. Технологии современной металлургии. – М.: Новые технологии, 2004. – 784 с.
2. Ворожцов А.Б., Архипов В.А., Шрагер Э.Р. и др. Устройство для смешения жидкостей и порошков с жидкостью: заявка на патент № 2016130836 РФ. – Заявлено 26.07.2016.
3. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация. – М.: Мир, 1974. – 688 с.
4. Справочник химика/ под. ред. Б.П. Никольского. – М.-Л. Химия, 1982. – С. 682–693.