



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-2-12-14>
УДК 621.74: 669.714

Поступила 11.03.2020
Received 11.03.2020

ВЛИЯНИЕ ГАЗОВ, ВЫДЕЛЯЮЩИХСЯ ПРИ ЗАТВЕРДЕВАНИИ ОТЛИВОК, НА МИКРОСТРУКТУРУ СПЛАВОВ

Е. И. МАРУКОВИЧ, В. Ю. СТЕЦЕНКО, Институт технологии металлов НАН Беларуси, г. Могилев, Беларусь, ул. Бялыницкого-Бирули, 11. E-mail: lms@itm.by

Сделан термодинамический расчет образования сферических газовых пузырьков на различных по смачиваемости металлическим расплавом плоских поверхностях. Этот процесс состоит из двух стадий. Первая – образование равновесного газового пузырька в виде шарового сегмента. Вторая – его сворачивание в сферический пузырек. Расчеты проводились для газовых пузырьков с постоянным объемом. Показано, что энергия Гиббса образования сферического газового пузырька на смачиваемой металлическим расплавом подложке в 3 раза меньше, чем на несмачиваемой расплавом подложке. Таким образом, газы, выделяющиеся при затвердевании отливок, будут предпочтительно образовываться и удаляться в виде пузырьков на смачиваемых металлическим расплавом поверхностях кристаллизующихся фаз сплавов и непосредственно влиять на их микроструктуру.

Ключевые слова. Газовые пузырьки, термодинамический расчет, смачивание, отливки, сплавы, расплавы, микроструктура, затвердевание.

Для цитирования. Марукович, Е. И. Влияние газов, выделяющихся при затвердевании отливок, на микроструктуру сплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко // *Литье и металлургия*. 2020. № 2. С. 12–14. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-2-12-14>.

EFFECT OF GASES RELEASED DURING SOLIDIFICATION OF CASTINGS ON MICROSTRUCTURE OF ALLOYS

E. I. MARUKOVICH, V. Yu. STETSENKO, Institute of Technology of Metals of National Academy of Sciences of Belarus, 11, Bialynitskogo-Biruli Str., Mogilev, Belarus. E-mail: lms@itm.by

Thermodynamic calculation of formation of spherical gas bubbles different in water – wetting on flat surfaces by metal melt is made. This process consists of two stages. The first stage is formation of equilibrium gas bubble in the form of ball segment. The second stage is its swinging into a spherical bubble. Calculations were made for gas bubbles with constant volume. It is shown that Gibbs energy of spherical gas bubble formation on water – wetting metal melt substrate is three times less than on non-wettable melt substrate. Thus, gases released by solidification of the castings will preferably be formed and removed as bubbles on the molten metal surfaces of the crystallizable phases of the alloys and directly affect on their microstructure.

Keywords. Gas bubbles, thermodynamic calculation, wetting, castings, alloys, melts, microstructure, solidification.

For citation. Marukovich E. I., Stetsenko V. Yu. Effect of gases released during solidification of castings on microstructure of alloys. *Foundry production and metallurgy*, 2020, no. 2, pp. 12–14. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-2-12-14>.

Известно, что при затвердевании металлических расплавов (расплавов) выделяются растворенные газы, особенно водород. Но их влияние на процесс кристаллизации и микроструктуру сплавов недостаточно изучено и является спорным. Одни исследователи, исходя из теоретических расчетов, считают, что газы, выделяющиеся при затвердевании отливок, предпочтительно формируются в виде пузырьков на плохо смачиваемых расплавом межфазных поверхностях, в основном на неметаллических включениях [1–3]. В этом случае при затвердевании расплавов выделяющиеся газы не будут оказывать влияние на микроструктуру сплавов. Другие исследователи, исходя из опыта по дегазации расплава, считают, что газы, выделяющиеся при затвердевании отливок, оказывают влияние на процесс кристаллизации сплавов [4–6].

Расхождение между теорией и практикой в вопросе влияния газов, выделяющихся при затвердевании отливок, на микроструктуру сплавов объясняется тем, что термодинамически исследовался только процесс образования равновесного газового пузырька в виде шарового сегмента. Но отрывающиеся от

межфазной поверхности газовые пузырьки имеют сферическую форму. Поэтому термодинамический расчет процесса образования газового пузырька был неполным.

Проведем полный термодинамический расчет образования сферического газового пузырька на плохо и хорошо смачиваемых расплавом плоских подложках. Этот процесс состоит из двух стадий: первая – образование равновесного газового пузырька в виде шарового сегмента; вторая – его сворачивание в шар. Пусть объем пузырька будет постоянным. Это необходимо для сравнения эффективности образования сферических газовых пузырьков на плохо и хорошо смачиваемых расплавом плоских подложках. Схема образования сферического газового пузырька приведена на рисунке.

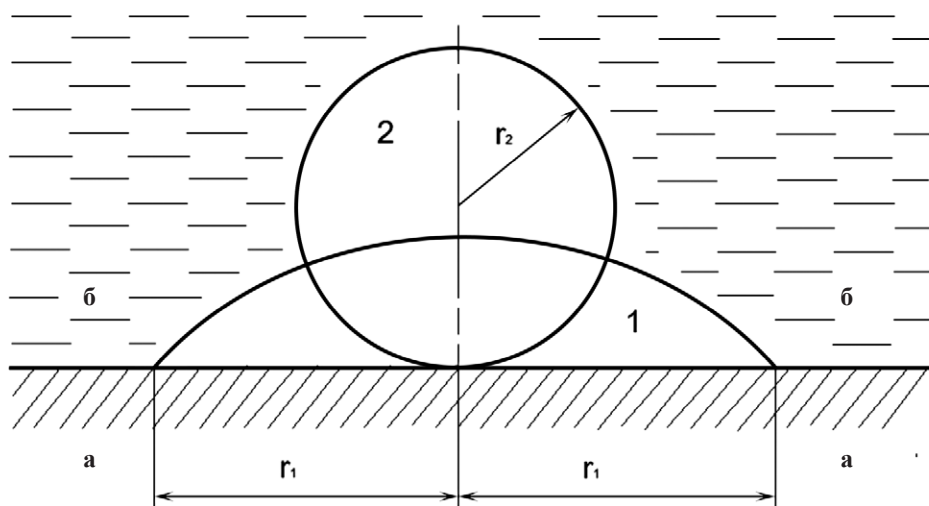


Схема формирования газового пузырька на плоской подложке:

а – подложка; *б* – расплав; 1 – газовый пузырек в виде шарового сегмента; 2 – газовый пузырек в виде шара

Известно, что энергия Гиббса образования равновесного газового пузырька равна 1/3 его межфазной поверхностной энергии [2, 3]. Тогда энергия Гиббса образования равновесного пузырька в виде шарового сегмента на плохо смачиваемой расплавом плоской подложке ($G_{но}$) будет определяться следующим уравнением:

$$G_{но} = \frac{1}{3} S_{1н} \sigma_1 + \frac{1}{3} (\sigma_{2н} - \sigma_{3н}) S_{2н}, \quad (1)$$

где $S_{1н}$ – площадь межфазной поверхности газового шарового сегмента с расплавом, который плохо смачивает подложку; σ_1 – удельная межфазная поверхностная энергия на границе «расплав – газ»; $S_{2н}$ – площадь межфазной поверхности газового шарового сегмента с подложкой, которая плохо смачивается расплавом; $\sigma_{2н}$ – удельная межфазная поверхностная энергия на границе «подложка – газ» при плохом смачивании расплавом подложки; $\sigma_{3н}$ – удельная межфазная поверхностная энергия на границе «расплав – подложка» при плохом смачивании расплавом подложки.

Энергия Гиббса процесса сворачивания газового шарового сегмента в газовый шар при плохом смачивании расплавом подложки ($G_{нс}$) будет определяться следующим уравнением:

$$G_{нс} = (S_4 - S_{1н}) \sigma_1 + (\sigma_{3н} - \sigma_{2н}) S_{2н}, \quad (2)$$

где S_4 – площадь газового шара.

Энергия Гиббса образования газового пузырька на плохо смачиваемой расплавом подложке (G_n) равна сумме $G_{но}$ и $G_{нс}$. Тогда с учетом уравнений (1) и (2) G_n равна:

$$G_n = \left(S_4 - \frac{2}{3} S_{1н} \right) \sigma_1 + \frac{2}{3} S_{2н} (\sigma_{3н} - \sigma_{2н}). \quad (3)$$

При несмачивании расплавом подложки $\sigma_{3н} = \sigma_1 + \sigma_{2н}$. В этом случае энергия Гиббса образования сферического газового пузырька будет равна $\sigma_1 S_4$.

Энергия Гиббса образования равновесного газового пузырька в виде шарового сегмента на хорошо смачиваемой расплавом плоской подложке ($G_{со}$) будет определяться следующим уравнением:

$$G_{co} = \frac{1}{3} S_{1c} \sigma_1 + \frac{1}{3} (\sigma_{2c} - \sigma_{3c}) S_{2c}, \quad (4)$$

где S_{1c} – площадь межфазной поверхности газового шарового сегмента с расплавом, который хорошо смачивает подложку; S_{2c} – площадь межфазной поверхности газового шарового сегмента с подложкой, которая хорошо смачивается расплавом; σ_{2c} – удельная межфазная поверхностная энергия на границе «подложка – газ» при хорошем смачивании расплавом подложки; σ_{3c} – удельная межфазная поверхностная энергия на границе «расплав – подложка» при хорошем смачивании расплавом подложки.

Энергия Гиббса процесса сворачивания газового шарового сегмента в газовый шар при хорошем смачивании расплавом подложки (G_{cc}) будет определяться следующим уравнением:

$$G_{cc} = (S_4 - S_{1c}) \sigma_1 + S_{2c} (\sigma_{3c} - \sigma_{2c}). \quad (5)$$

Энергия Гиббса образования газового пузырька на хорошо смачиваемой расплавом подложке (G_c) равна сумме G_{co} и G_{cc} . С учетом уравнений (4) и (5) G_c будет равна:

$$G_c = \left(S_4 - \frac{2}{3} S_{1c} \right) \sigma_1 + \frac{2}{3} S_{2c} (\sigma_{3c} - \sigma_{2c}). \quad (6)$$

При смачивании расплавом подложки $S_{1c} = S_4$, а $S_{2c} = 0$. В этом случае энергия Гиббса образования сферического газового пузырька будет равна $\frac{1}{3} \sigma_1 S_4$. Следовательно, энергия Гиббса образования сферического газового пузырька на смачиваемой расплавом подложке в 3 раза меньше, чем на несмачиваемой расплавом подложке. Это означает, что сферические пузырьки газа предпочтительно будут образовываться и удаляться на хорошо смачиваемых расплавом подложках.

Для экспериментального определения влияния подложек на образование и удаление сферических газовых пузырьков был проведен следующий эксперимент. Выбрали два одинаковых стакана из термостойкого, химически инертного к воде стекла. Емкость стакана и внутренний диаметр его дна составляли соответственно 400 см³ и 68 мм. На поверхность дна одного стакана был нанесен очень тонкий слой технического вазелина марки ОКБ 122–7, который плохо смачивается водой и стоек при ее кипячении. Стаканы заполняли дистиллированной водой объемом по 150 см³ каждый и подвергали нагреванию на одной электрической плитке. Интенсивность образования и удаления пузырьков водяного пара определяли по убыли массы воды в стаканах за время ее кипячения в течение 35 мин. Было установлено, что интенсивность образования и удаления водяного пара в виде сферических пузырьков хорошо смачиваемой водой поверхности дна одного стакана была на 27% выше, чем на плохо смачиваемой водой поверхности дна другого стакана.

Таким образом, на основании термодинамических расчетов и модельного эксперимента можно утверждать, что газы, выделяющиеся при затвердевании отливок, будут предпочтительно образовываться и удаляться в виде сферических пузырьков на хорошо смачиваемых расплавом поверхностях фаз сплавов и непосредственно влиять на их микроструктуру.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чалмерс Б. Теория затвердевания. М.: Металлургия, 1968. 288 с.
2. Никифоров Г.Д. Металлургия сварки плавлением алюминиевых сплавов. М.: Машиностроение, 1972. 264 с.
3. Добаткин В.И., Габидуллин Р.М., Колачев Б.А., Макаров Г.С. Газы и окислы в алюминиевых деформируемых сплавах. М.: Металлургия, 1976. 264 с.
4. Строганов Г.Б. Высокопрочные литейные алюминиевые сплавы. М.: Металлургия, 1985. 216 с.
5. Неймарк В.Е. Модифицированный стальной слиток. М.: Металлургия, 1977. 154 с.
6. Альтман М.Б., Стромская Н.П. Повышение свойств стандартных литейных алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1984. 128 с.

REFERENCES

1. Chalmers B. *Teoriya zatverdevaniya* [Theory of hardening]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1968. 288 p.
2. Nikiforov G.D. *Metallurgiya svarki plavleniem alyuminievykh splavov* [Metallurgy of aluminum alloy fusion welding]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1972. 264 p.
3. Dobatkin V.I., Gabidullin R.M., Kolachev B.A., Makarov G.S. *Gazy i okisly v alyuminievykh deformiruemyykh splavakh* [Gases and oxides in aluminium deformable alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1976. 264 p.
4. Stroganov G.B. *Vysokoprochnyye litejnye alyuminievye splavy* [High-strength cast aluminium alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1985. 216 p.
5. Nejmark V.E. *Modifitsirovannyj stal'noj slitok* [The modified steel ingot]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1977. 154 p.
6. Al'tman M.B., Stromskaya N.P. *Povyshenie svojstv standartnykh litejnykh alyuminievykh splavov* [Improving the Properties of Standard Aluminium Casting Alloys]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1984. 128 p.