

УДК 621.373.8

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОКАПИЛЛЯРНОЙ КОНВЕКЦИИ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ

Аскарова А. Я., Аскаров М. Р.

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева-КАИ»
Казань, Российская Федерация

Аннотация. Исследовано влияние параметров лазерного источника на образование наплывов, возникающие в процессе термокапиллярной конвекции, а также критическая скорость перемещения лазера, при которой термокапиллярная конвекция развиваться не успевает, и наплывы не образуются.

Ключевые слова: термокапиллярная конвекция, поверхностная лазерная обработка, наплывы.

EFFECT OF THERMOCAPILLARY CONVECTION ON SURFACE QUALITY IN LASER METALWORKING

Askarova A., Askarov M.

Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev-KAI
Kazan, Russian Federation

Abstract. The influence of the laser source parameters on the formation of surges that occur during thermocapillary convection, as well as the critical speed of laser movement, at which thermocapillary convection does not have time to develop, and surges do not form, is investigated.

Keywords: thermocapillary convection, surface laser treatment, surges.

Адрес для переписки: Аскарова А. Я., ул. К. Маркса, 10, г. Казань 420111, Российская Федерация
e-mail: alsuask@mail.ru

Термокапиллярная конвекция проявляется в образовании волнообразного профиля поверхности с углублением в центре и небольшими высотами по краям. Это явление возникает из-за градиента температур [1]. Температура на поверхности жидкости меняется радиально от наибольшего значения T_1 в центре ванны (рисунок 1) до наименьшего значения на ее периферии T_2 . Так как температура жидкости в центре ванны наибольшая, то поверхностное натяжение там имеет наименьшее значение. В радиальном направлении от центра поверхностное натяжение жидкости увеличивается, что в свою очередь приводит к разнице поверхностного натяжения в центре и на границе.

Явление термокапиллярной конвекции появляется при воздействии теплового источника на поверхность жидкости. Одним из видов теплового источника является лазерный луч, используемый при поверхностной лазерной закалке металлов с оплавлением.

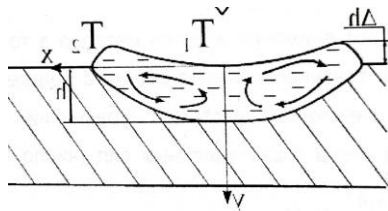


Рисунок 1 – Термокапиллярная конвекция

При таком поверхностном упрочнении металла в месте воздействия лазера образуется жидкая лунка. Качество поверхности ухудшается, возникают неровности в виде волнистости. Рассматривая

расплавленный металл как ньютоновскую жидкость можно проследить влияние термокапиллярной конвекции на качество поверхности металла.

Образование наплывов застывшего металла является нежелательным эффектом поверхностной лазерной обработки деталей, так как это вид поверхностного упрочнения чаще всего является окончательным видом обработки металлических изделий. Поэтому исследования, связанные с нахождением и устранением вышеуказанных факторов, влияющих на профиль поверхности, имеют важное прикладное значение.

На образование наплывов влияют теплофизические параметры металла и температурные условия на свободной поверхности: разности температур между центром жидкой ванны и ее периферией, коэффициента поверхностного натяжения, плотности, толщины расплава. Перепад высоты Δh пропорционален разности ΔT между центром жидкой ванны и ее периферией и коэффициенту поверхностного натяжения и обратно пропорционален плотности и ускорению свободного падения. Перепад Δh также обратно пропорционален толщине расплава h . Это свидетельствует о том, что сопротивление обратному (гравитационному) течению снижается с увеличением толщины расплавленного металла, т. е. с увеличением мощности точечного нагрева, увеличивается глубина ванны металла, что приводит к уменьшению влияния конвективного перемешивания, в результате чего высота наплывов уменьшается.

$$\Delta h = \frac{3 \gamma T_m}{2 g \rho \gamma_0}, \quad (1)$$

где Δh – перепад высоты; γ – температурный коэффициент поверхностного натяжения; ρ – плотность материала; T_m – температура плавления, g – ускорение свободного падения; y_0 – функция, определяющая зависимость от параметров теплового источника.

Если рассматривать образцы разных металлов, то можно проанализировать, как будет изменяться высота наплыва.

При глубине проплавления $h = 1$ мм, разности $\Delta T = 100^\circ$ для стали ($\rho_{ст} = 7,8$ г/см³, $\gamma = 0,49$ мН/мК) $\Delta h = 1$, для титана ($\rho_t = 4,5$ г/см³, $\gamma = 0,26$ мН/мК) $\Delta h = 0,9$, для алюминия ($\rho_a = 2,38$ г/см³, $\gamma = 0,35$ мН/мК) $\Delta h = 2,4$.

Таким образом, для алюминия высота наплыва примерно в два раза больше, чем у стали и титана, так как плотность алюминия значительно ниже.

Для различных мощностей лазерного излучения также меняется высота наплыва.

На примере нержавеющей стали 304 с теплофизическими характеристиками $\rho_{ст} = 7,8$ г/см³, $T_m = 1809$ °К, $\Delta T = \min 100^\circ$ $\gamma = 0,49$ мН/мК, в зависимости от глубины проплавления в определенной точке расплава для различных мощностей лазерного излучения: $h = 4$ мм – $\Delta h = 0,27$; $h = 6$ мм – $\Delta h = 0,18$; $h = 10$ мм – $\Delta h = 0,1$; $h = 16$ мм – $\Delta h = 0,07$; $h = 18$ мм – $\Delta h = 0,06$.

Таким образом, с увеличением мощности лазерного излучения, с увеличением глубины проплавления, высота наплывов уменьшается.

Регулируя параметры теплового источника, можно влиять на развитие термокапиллярной конвекции, вызывающей образование наплывов на поверхности различных металлов.

Перемещая тепловой источник с той или иной скоростью, можно влиять на искривление свободной поверхности. Следовательно, существует возможность найти критическую скорость перемещения сканирующего лазера, при которой высота наплыва вследствие термокапиллярной конвекции будет стремиться к нулю [2].

$$W_{кр} = \frac{d}{2\tau} = \left(\frac{\Delta T g y_0}{12 T_m} \right)^{1/2}, \quad (2)$$

где $W_{кр}$ – критическая скорость теплового источника; τ – время; ΔT – разность температур.

Из уравнения видно, что скорость движения теплового источника зависит от самого материала, выраженному через температуру плавления T_m и от параметров теплового источника, выраженных через функции y_0 , ΔT .

Выражение (2) показывает: регулируя значения параметров теплового источника (мощность, плотность мощности и др.), изменяя перепад температур в центре и на периферии расплавленного пятна, можно подобрать критическую скорость перемещения теплового источника для конкретного металла, когда отклонения свободной поверхности от плоской, вызванные термокапиллярной конвекцией, будут стремиться к нулю.

Литература

1. Гарифуллин, Ф. А. Тепловая неустойчивость слоя упруговязкой жидкости с учетом термокапиллярных сил / Ф. А. Гарифуллин, Ф. Х. Тазюков // Сб.: Тепло-массообмен в химической технологии. – Вып. 5. – Казань: КХТИ. – 1977. С. 26–30.
2. Аскарова, А. Я. Влияние термокапиллярной конвекции на форму свободной поверхности жидкости. Автореферат дис. НЭБ, Казань: 2001.

УДК 681.7

ТЕПЛОВИЗИОННО-НОЧНОЙ МОНОКУЛЯР Белохвостик Е. В., Довжик В. Г., Кузнечик В. О.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация: Рассмотрено устройство двухканального телевизионно-ночного монокуляра и его основные элементы.

Ключевые слова: ночной канал, тепловизионный канал, монокуляр.

THERMAL IMAGING-NIGHT MONOCULAR Belokhvoostik E., Dovzhik V., Kuznechik V.

*Belorussian National Technical University
Minsk, Republic of Belarus*

Annotation: The device of a two-channel television-night monocular and its main elements are considered.

Keywords: night channel, thermal imaging channel, monocular.

*Адрес для переписки: Кузнечик В. О., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
e-mail: kuznechik@bntu.by*

Для расширения тактико-технических возможностей оптико-электронных приборов (ОЭП) наблюдения используют комбинированные ОЭП, к которым можно отнести двухканальный тепло-

визионно-ночной монокуляр (рисунок 1), в состав которого входит ночной (работает по отраженному от объекта излучению) и тепловизионный (работает по собственному тепловому излучению