

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»

(г.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 развивается 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.Y., Askarov M.R.

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, РФ, 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 (см.рис.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

луч, используемый при поверхностной лазерной закалке металлов с оплавлением.

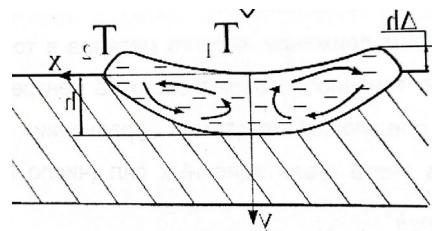


Рисунок 1 Термокапиллярная конвекция

При таком поверхностном упрочнении металла в месте воздействия лазера образуется

появляется при воздействии теплового источника на поверхность жидкости. Одним из видов теплового источника является лазерный проследить влияние термокапиллярной конвекции на качество поверхности металла.

Образование напльвов 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 напльвов 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 проплавленного металла, т.е. с увеличением мощности точечного нагрева, увеличивается глубина ванны металла, что приводит к уменьшению влияния конвективного перемешивания, в результате чего высота напльвов уменьшается.

$$\Delta h = \frac{3}{2} \frac{\gamma T_m}{g \rho y_0} \quad (1)$$

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 напльва.

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

Таким образом, для алюминия высота

жидкая лунка. Качество поверхности ухудшается, возникают неровности в виде волнистости. Рассматривая расплавленный металл как ньютоновскую жидкость можно

На примере нержавеющей стали 304 с теплофизическими характеристиками $\rho_{cr}=7,8$ г/см³, $T_m=1809^{\circ}$ К, $\Delta T= \min 100^{\circ}$ 0,49=γМН/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 напльвов уменьшается.

Регулируя параметры теплового источника, можно влиять на развитие термокапиллярной конвекции, вызывающей образование напльвов 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 напльва вследствие термокапиллярной конвекции будет стремиться к нулю [2].

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

где W_{kp} – 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:

- Гарифуллин Ф.А., Тазюков Ф.Х. Тепловая неустойчивость слоя упруговязкой жидкости с учетом термокапиллярных сил. В сб.: Тепло-массообмен в химической технологии. – Вып.5. – Казань:КХТИ, 1977, с.26-30
- Аскарова А.Я. Влияние термокапиллярной

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.

конвекции на форму свободной поверхности жидкости. Автореферат дис. НЭБ, Казань:2001

<https://www.dissertcat.com/content/vliyanie-termokapillyarnoi-konvektsii-na-formu-svobodnoi-poverkhnosti-zhidkosti>