

УДК 621.375.826:621

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ГАЗОЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК БОЛЬШИХ ТОЛЩИН В ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ

© В. В. Романенко, к.т.н., доцент, А. С. Козырев,
А. А. Шкуренко, НТУУ «КПИ», Киев, Украина

У даній роботі на основі аналізу можливостей реалізації процесу газолазерної різки металевих заготовок великої товщини для потреб поліграфічних виробництв запропоновано декілька методів вдосконалення цього процесу за рахунок складання технологічного переміщення заготовки та скануючого руху лазерного випромінювання по лінії різання для забезпечення різки таких заготовок з високою якістю.

In this work, based on the analysis of marketabilities process of laser gas-assisted cutting of metal slugs of large thickness for the necessities of polygraphy productions, a few methods of improvement of this process are offered due to addition the technological moving of slug and scanning motion of laser radiation along the lines of cutting for providing cutting of such slugs with high quality.

Постановка проблемы

Газолазерная резка (ГЛР) металлических материалов, широко применяемая для нужд полиграфических производств, представляет собой сложный технологический процесс. ГЛР же металлических материалов больших толщин сопровождается рядом дополнительных осложнений. Ранее на основе теоретического анализа процесса ГЛР сформулированы условия стационарного протекания процесса разрушения для обеспечения качественной резки заготовок, что позволило разработать принципиально новую схему газолазерной резки металлических материалов больших толщин. Такой способ обработки предложен как альтернатива

применению импульсно-периодического лазерного излучения для резки металлов значительных толщин, что требует использования более дорогостоящих лазерных комплексов.

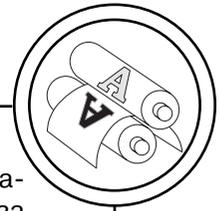
Цель работы

Теоретическое обоснование способов реализации нового метода процесса ГЛР металлических заготовок больших толщин для потребностей полиграфической промышленности.

Результаты проведенных исследований

При разработке теоретических предпосылок для реализации нового способа резки металлов больших толщин будем исходить из следующих сообра-

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



жений. В первую очередь необходимо обеспечить, чтобы разрезаемая заготовка выполняла технологическое перемещение относительно лазерного излучения с достаточно малой скоростью, обеспечивающей полное прорезание всей толщины металла. Для металлических листов больших толщин (в нашем случае до 15 мм) такие скорости лежат в диапазоне менее, чем 0,5 м/мин. При этом одновременно необходимо постоянно поддерживать в зоне резки скорость относительного движения лазерного луча и разрезаемой заготовки в оптимальном диапазоне (до 2,5 м/мин), чтобы обеспечить требуемое высокое качество резки: ширину реза — 0,5...1 мм; шероховатость поверхности реза — 20...40 мкм; зону термического влияния на кромках реза — 0,25...0,5 мм [1].

Реализацию такого двойного перемещения лазерного луча

относительно разрезаемой заготовки можно обеспечить за счет дополнительного сканирующего движения лазерного луча вдоль линии разрушения в процессе резки на требуемых малых скоростях. При этом амплитуда сканирующего движения должна быть большей диаметра сфокусированного в зоне резки лазерного излучения и рассчитываться из условия соотношения скоростей технологического перемещения разрезаемой заготовки и сканирующего движения лазерного луча [2].

В зависимости от способа сканирования лазерного излучения возможно воплощение различных механизмов разрушения в зоне резки. Так, имеется возможность реализации схем послойно-попутного и послойно-встречного разрушения в зоне резки (рис. 1 и 2).

В первом случае (см. рис. 1) сканирующее движение луча производится в направлении,

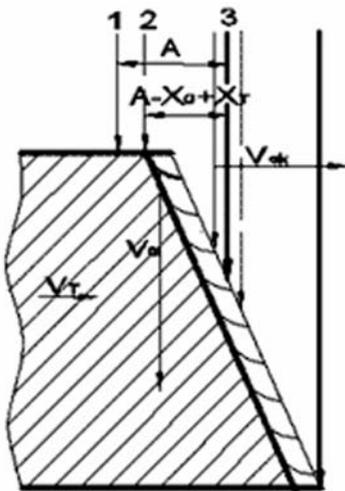


Рис. 1. Схема послойно-попутного разрушения в зоне ГЛР

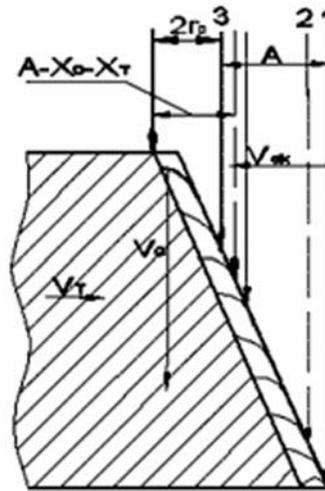


Рис. 2. Схема послойно-встречного разрушения в зоне ГЛР



ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

попутном направлении технологического движения заготовки. При этом лазерное излучение также постепенно перемещается с поверхности заготовки вглубь ее. В конце сканирования луч скачкообразно переводится в исходное положение (на поверхность материала). Во втором случае (см. рис. 2) имеет место встречное движение луча и заготовки с разрушением, направленным из глубины на поверхность заготовки, при скачкообразном переведении луча вновь внутрь материала.

При возвратно-поступательном сканировании луча будет осуществляться способ пилообразного удаления материала по линии реза (рис. 3), когда при медленном технологическом движении заготовки лазерный луч периодически и с более высокой скоростью перемещается вперед-назад, одновременно углубляясь внутрь заготовки и возвращаясь на ее поверхность.

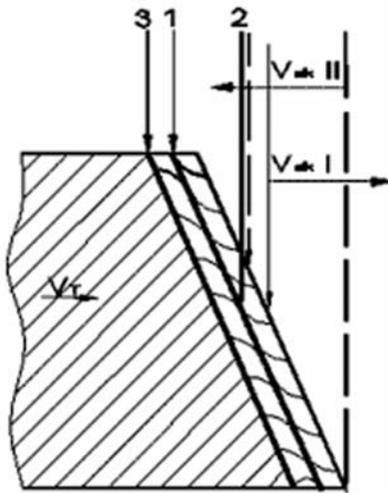


Рис. 3. Схема пилообразного разрушения в зоне ГЛР

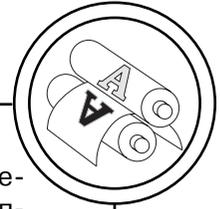
Рассмотрим возможности реализации каждой из предложенных схем резки, а также преимущества и недостатки каждой из них.

Схема послойно-попутного разрушения полностью соответствует условиям резки с образованием борозд на поверхности разрушения [1]. Напомним, что при скоростях резки в пределах 1...2,5 м/мин механизм формирования реза существенно зависит от закономерностей, происходящих на верхней кромке металла до момента установления процесса разрушения. В этот переходный период происходит нагревание верхней кромки металла от исходной температуры T_H до температуры разрушения T_0 и ускорение границы разрушения до скорости V_0 . При этом вначале граница разрушения неподвижна, а тепло расходуется на образование очередной борозды, ширина которой определяется механизмом теплопроводности. При достижении же температуры T_0 скачкообразно включается механизм разрушения внутрь металла, и сформированная вблизи верхней кромки борозда углубляется со скоростью V_0 .

Как следует из [1], время t_0 установления разрушения на верхней кромке металла при послойно-попутном снятии материала можно определить из выражения:

$$t_0 = \left(\frac{2a}{V_{ск}^2} \right) \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{kV_{ск}(T_0 - T_H)}{aW_p} \right)^{1/2} \right], \quad (1)$$

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



где k — коэффициент теплопроводности; a — коэффициент температуро-проводности; W_p — плотность лазерной мощности; $V_{ск}$ — скорость сканирования лазерного луча.

В течение времени t_0 (это время является потерянном для разрушения) лазерный источник переместится по верхней кромке металла на расстояние $x_0 = V_{ск}t_0$. Вместе с тем, сама заготовка совершит технологическое перемещение $x_T = V_T t_0$ (здесь V_T — скорость технологического движения заготовки), частично компенсирующее потерянное на нагрев время. Затем, в пределах оставшейся части амплитуды сканирования ($A - x_0 + x_T$), будет происходить прорезание заготовки на требуемую глубину (см. рис. 1).

Значение величин V_0 и T_0 , характеризующих протекание процесса установившегося разрушения, можно определить при решении системы из уравнений энергетического баланса в зоне обработки и кинетики реакции при окислении металла [1]:

$$V_0 = \frac{W_p}{\rho c(T_0 - T_H) \left(1.9 + \frac{a}{V_{ск} r_0}\right) + \Sigma L - G} \quad (2)$$

$$T_0 = T_G \ln^{-1} \left(\frac{S_0}{V_0} \right),$$

где G — удельная теплота реакции горения; ΣL — суммарная теплота фазовых переходов металла и его окислов; S_0 — некоторая константа, близкая к скорости звука в металле; T_G — выраженная в градусах теплота реакции; ρ — плотность металла; c — его удельная теплоемкость.

Глубина разрезанного металла при этом может быть определена из соотношения:

$$h = (A - x_0 + x_T) \frac{V_0}{V_{ск}}. \quad (3)$$

Скорость технологического движения заготовки может быть оценена из условия полного прорезания заготовки за время прохождения сфокусированным лазерным лучом диаметра его фокального пятна:

$$V_T = \frac{2r_0 V_0}{h}. \quad (4)$$

Выбор амплитуды сканирования будет зависеть, в первую очередь, от соотношения скоростей технологического перемещения заготовки и сканирования лазерного излучения. При этом

$$A = 2r_0 \frac{V_{ск}}{V_T}. \quad (5)$$

Из приведенных рассуждений видно, что реализация рассмотренной схемы резки не вызывает особых затруднений. Очевидно, что будет наблюдаться больший наклон поверхности разрушения, чем при обычном способе разрезания из-за сканирования излучения вдоль фронта разрушения и, как результат, больший наклон борозд на поверхности выполненного реза. Следует также отметить, что для облегчения протекание процесса (в частности, удаления продуктов разрушения из зоны обработки газовой струей) не следует слишком завышать скорость относительно-



ТЕХНОЛОГИЧНІ ПРОЦЕСИ

го движения лазерного луча и заготовки, устанавливая ее в пределах $V_{отн} = 1,5...2$ м/мин. Учитывая же то, что в данном случае технологическое движение заготовки частично компенсирует сканирующее движение лазерного луча получаем, что $V_{ск} = V_{отн} + V_T$. Следовательно, скорость сканирующего движения лазерного луча при данной схеме реализации процесса выбирается в пределах $2...2,5$ м/мин.

К недостаткам такой схемы обработки следует отнести наличие бороздчатой структуры на поверхности реза с несколько завышенной шероховатостью ($Rz = 15...30$ мкм).

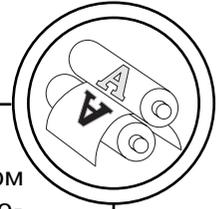
При послойно-встречной схеме резки лазерное излучение первоначально попадает на нижние, глубинные слои материала (см. рис. 2), и, по истечении времени t_0 , необходимого для разогрева фронта резки до температуры T_0 и установления начала разрушения, последнее будет происходить по линии резки в пределах оставшейся части амплитуды сканирования луча. Эта часть амплитуды в результате встречного движения луча и заготовки уменьшается до величины $(A - x_0 - x_T)$. При реализации данной схемы необходимо использовать более длиннофокусную оптику с тем, чтобы сохранить достаточно высокую плотность мощности в глубинных слоях разрезаемого материала. Что же касается скорости относительного движения лазерного луча и заготовки $V_{отн}$, то в данном случае для стабилизации процесса разрушения в нижних слоях материала она должна иметь ми-

нимально допустимое значение (в пределах $V_{отн} = 1...1,5$ м/мин). Так как в данном случае технологическое движение заготовки будет увеличивать сканирующее движение лазерного луча, то $V_{ск} = V_{отн} - V_T$. Т.е. скорость сканирования в данном случае — $0,5...1$ м/мин.

Другой особенностью данной схемы обработки является то, что разрушение выполняется снизу вверх. Происходит подрезание верхних слоев материала с удалением продуктов разрушения газовой струей вниз. Поверхность разрушения не может иметь бороздчатую структуру, так как формируется не в результате распространения теплового поля, а за счет течения продуктов разрушения в канале реза. Как результат, поверхность реза будет иметь литой характер с незначительной величиной шероховатости ($Rz = 5...15$ мкм).

Очевидно, что при реализации схемы пилообразного разрушения (см. рис. 3) имеет место суммирующий эффект двух рассмотренных выше способов обработки. К преимуществам этой схемы резки следует отнести достаточно стабильный характер разрушения в зоне обработки, так как нет прерывания процесса разрушения из-за резкого перевода лазерного излучения на новые участки обработки. Вместе с тем, вблизи верхней и нижней кромки разрезаемого материала будет наблюдаться дополнительный перегрев материала заготовки в результате двойного движения сканируемого луча (вперед-назад). Это может привести к воз-

ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ



никновению автогенного (неуправляемого) режима резки на этих участках. Поэтому для данной схемы резки скорость относительного движения лазерного луча и заготовки $V_{отн}$ должна быть близкой к максимально возможной, т.е. $V_{отн} = 2$ м/мин. При выборе же скорости сканирования лазерного луча необходимо учитывать, что в фазе попутного движения луча и заготовки технологическое движение заготовки частично компенсирует сканирующее движение лазерного луча, т.е. $V_{отн} = V_{ск} - V_T$, тогда как в фазе встречного движения луча и заготовки — $V_{отн} = V_{ск} + V_T$. Поэтому скорость сканирования выбирается в пределах $V_{ск} = 2,5$ м/мин. Шероховатость поверхности реза в рассматриваемом случае будет невысокой ($Rz = 10...25$ мкм) в результате повышенной скорости сканирования, а также из-за смывания выступов образованных на поверхности реза борозд в фазе встречного движения луча и заготовки.

При технологической реализации разработанных схем ГЛР следует учесть, что предложенные способы обработки могут быть успешно реализованы при разрезании на прямолинейных участках, а также при резке заготовок с круговым профилем и с плавными изгибами контура. При обработке острых углов необходимо подбирать такую траекторию технологического движения лазерного излучения относительно разрезаемой заготовки, чтобы острые углы образовывались как результат плавных переходов (например, в виде дополнительной плавной петли

вне контура резки). При этом необходимо постоянно соблюдать (с помощью дополнительного устройства, входящего в состав системы ЧПУ), чтобы направление сканирования лазерного излучения совпадало с направлением движения заготовки в каждой точке контура резки. Необходимое устройство может быть реализовано, например, с помощью колеблющегося поворотного зеркала. Другим вариантом решения такого устройства (с реализацией режима пилообразного сканирования лазерного излучения вдоль линии резки с синхронным углублением точки фокуса лазерного луча с поверхности внутрь заготовки и обратно) является фокусирующая линза с клиновидным основанием. Линза снабжена при этом механизмом ее колебания вдоль своей оси (например, с помощью вращающегося кулачка с плоским пазом). Толстая же часть линзы должна быть постоянно строго ориентирована по направлению резки с помощью устройства ее вращения от ЧПУ. В совокупности все это обеспечивает пилообразное сканирование излучения вдоль линии резки в каждой точке разрезаемого контура детали, что, в свою очередь, обеспечивает стабильное и качественное протекание процесса при ГЛР толстолистовых металлических материалов.

Выводы

1. На основе анализа технологических условий обеспечения качественной газолазерной резки металлических материалов больших толщин разработа-



ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

ны новые схемы ГЛР с реализацией двойного перемещения лазерного луча относительно разрезаемой заготовки за счет суммирования технологического перемещения заготовки и дополнительного сканирующего движения лазерного луча вдоль линии разрушения в процессе резки.

2. В зависимости от способа сканирования лазерного излучения в зоне резки реализованы схемы послойно-попутного, послойно-встречного и пилообразного разрушения при ГЛР толстолистовых материалов. Сформулированы достоинства и недостатки каждой из схем реализации технологического процесса.

3. На основании математического описания механизма разрушения и формообразования резов в каждом случае сформу-

лированы условия оптимального протекания процесса и рассчитаны основные технологические режимы при реализации каждой из схем процесса для обеспечения качественной резки. Обоснован диапазон необходимых скоростей сканирования лазерного луча в зоне резки для каждой из предложенных схем ГЛР толстолистовых материалов.

4. Проанализированы технологические особенности реализации разработанных схем ГЛР не только на прямолинейных участках резки, но и на участках со сложным контуром с целью выдерживания оптимальных условий протекания процесса резки по всей толщине разрезаемой заготовки в каждой точке разрезаемого контура для получения резов с заданным качеством при ГЛР металлических материалов больших толщин.

1. Коваленко В. С. Малоотходные процессы резки лучом лазера / В. С. Коваленко, В. В. Романенко, Л. М. Олещук. — Киев : Техника, 1987. — 112 с. 2. А.с. СССР № 1683254 В23к 26/00, 1991 г.

Рецензент — В. П. Котляров,
д.т.н., профессор, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 12.02.10