

УДК 621.375.826:621

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ ШТАМПОВ ДЛЯ НУЖД ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

© В. В. Романенко, к.т.н., доцент, НТУУ «КПИ», Киев, Украина

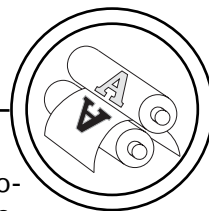
У даній роботі на основі аналізу можливих технологічних методів лазерного термозміцнення робочих кромок вирубних штампів для потреб поліграфічних виробництв запропоновано вдосконалений спосіб лазерної термообробки, який полягає в попередній вирубці штампом пробної деталі і подальшому встановленні (перед лазерним опроміненням) деталі в порожнині матриці штампів, а пуансона — в порожнині заготовки, що дає можливість збільшити глибину зміцненого шару робочих кромок штампів та підвищити якість цього шару і, як результат, збільшити експлуатаційну стійкість штампів.

**In this work on the basis of analysis of possible technological methods of laser heat hardening of working edges of stamp for the necessities of polygraphy productions the improved method of laser heat treatment is offered, which consists in the previous felling by the stamp of trial detail and subsequent setting (before a laser irradiation) of detail in the cavity of matrix of stamp and puncheon — in the cavity of slug, that enables to increase the depth of the fixed layer of working edges of stamps and promote quality of this layer and, as a result, increase operating firmness of stamps.**

#### **Постановка проблемы**

Термообработка рабочих кромок разделительных и вырубных штампов с использованием лазерного излучения широко применяется как в полиграфической промышленности, так и в других отраслях современного производства. Известные способы лазерного упрочнения штампов заключаются в облучении их рабочих кромок лазерным лучом при условии не достижения оплавления этих кромок, чтобы избежать порчи штампа и необходимости его последующей переточки. Процесс термообработки обеспечивается, с одной

стороны, концентрированным нагревом лазерным излучением и, с другой стороны, быстрым охлаждением облученной поверхности в результате последующего самоотвода тепла в тело штампа за счет механизма теплопроводности [1]. При этом важно обеспечить значительную глубину упрочнения и требуемую структуру рабочих кромок, что, в свою очередь, требует значительного ввода тепла от лазерного луча и надежного последующего теплоотвода. Для достижения первого условия режимы облучения максимально приближают к температурам, гра-



ничащим с оплавлением. Второе условие обеспечивают дополнительным теплоотводом.

Вместе с тем, кромка штампа подвержена лазерному облучению как с верхней, так и со стороны боковой поверхности штампа, что ведет к ее перегреву и, как следствие, требует смягчения режимов упрочнения. А это снижает глубину упрочненного слоя. Теплоотвод же обеспечивается только в одном направлении — в тело штампа. Этого недостаточно для получения более износостойких структур, необходимых для повышения эксплуатационной стойкости штампа.

### **Цель работы**

Повышение износостойкости матриц и пуансонов вырубных штампов в результате увеличения глубины и повышения качества упрочненного слоя их рабочих кромок и применение данного способа лазерной термообработки при изготовлении вырубных штампов для нужд полиграфической промышленности.

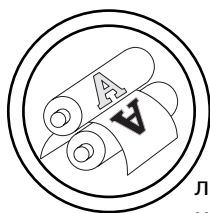
### **Результаты проведенных исследований**

Известен метод упрочнения штампов, включающий лазерную термообработку рабочих кромок матриц и пуансонов, составляющих такие штампы, с обеспечением дополнительного теплоотвода с помощью массивного металлического тела, находящегося в тепловом контакте с облучаемой матрицей или пуансоном [2]. Обычно такое массивное тело устанавливается снизу обрабатываемой детали. При этом некото-

рое увеличение скорости отвода тепла в результате увеличения теплоотводящей массы обеспечивает некоторое улучшение закалочной структуры рабочей кромки. Однако такое усовершенствование не решает главной проблемы. Упрочняемая кромка штампа по-прежнему испытывает значительный перегрев из-за двухстороннего (сверху и сбоку) облучения, тогда как отвод тепла от рабочей кромки обеспечивается только в одностороннем направлении (через тело штампа).

Разработан также способ лазерного упрочнения штампов, включающий лазерную термообработку их кромок с дополнительным теплоотводом за счет подачи в зону облучения охлаждающей жидкости [3]. Такое усовершенствование позволяет обеспечить двухсторонний отвод тепла (как в тело штампа, так и за счет контакта с охлаждающей жидкостью). Однако скорость такого дополнительного теплоотвода намного ниже по сравнению со скоростью теплоотвода при контакте с металлом. При этом не устраняется также двухстороннее облучение кромок штампов (жидкость должна быть прозрачна для лазерного излучения, иначе облучение будет в принципе невозможно), что потребует снижения интенсивности облучения, а значит и глубины упрочненного слоя на кромках штампов.

Авторами был теоретически обоснован и предложен принципиально новый метод лазерного термоупрочнения кромок вырубных штампов путем облучения (без оплавления) их рабочих кромок более энергоемким

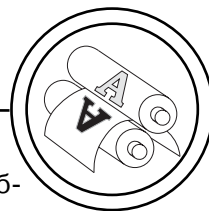


лазерным излучением с дополнительным отводом тепла не только внутрь штампа, но и в альтернативном направлении с помощью вспомогательного металлического тела. При этом обеспечивается идеальный тепловой контакт такого тела с облучаемой кромкой штампа.

Для реализации поставленной задачи необходим предварительный набор действий непосредственно перед лазерной термообработкой, заключающийся в следующем. Вновь изготовленным штампом, прошедшим общую предварительную термообработку, вырубает несколько деталей из заготовки, толщина которой будет установлена из приведенных ниже соображений. Оценивая качество вырубленных деталей (наличие заусенцев и пр.), определяют качество изготовления штампа, и принимается решение о необходимости его доводки или возможности его дальнейшей эксплуатации. Далее вырубленную этим штампом деталь устанавливают внутри полости матрицы штампа, а пуансон — внутри образовавшейся полости в заготовке. Деталь в полости штампа и заготовка на боковой поверхности пуансона удерживаются за счет сил трения. При установке соблюдают обязательное условие, чтобы облучаемая поверхность матрицы была в одной плоскости с верхней поверхностью расположенной внутри вырубленной деталью, а пуансона — в одной плоскости с верхней поверхностью заготовки. При этом, попадающее на верхнюю рабочую поверхность кромки матрицы и пуансона лазерное излучение

экранируется от попадания на их боковые поверхности, поглощаясь установленными деталью и заготовкой. Это препятствует чрезмерному перегреву рабочих кромок и позволяет повысить интенсивность облучения по кромке, а значит увеличить глубину упрочненного слоя на ней. Таким образом, термоупрочнение матрицы и пуансона возможно производить на энергетически повышенных режимах (но так, чтобы не было оплавления поверхности материала штампа), не обращая внимания на место облучения (тело штампа или его кромка). Следует также отметить, что упрочнение пуансонов (в отличие от облучения матриц) может производиться и по боковым поверхностям рабочих кромок. В этом случае лазерную термообработку производят по обычной схеме.

Необходимо обратить внимание, что при новом методе обеспечивается максимально надежный тепловой контакт дополнительного металлического тела с упрочняемыми рабочими кромками матрицы и пуансона в любом месте облучения (деталь идеально плотно контактирует с кромками матрицы, а пуансон — с кромками заготовки), что ведет к возрастанию скорости теплоотвода. Это способствует получению более мелкодисперсной закалочной структуры упрочненного слоя, а значит и большей износостойкости штампа. Обычно, для повышения к.п.д. лазерной термообработки, на рабочие кромки штампа предварительно наносят поглощающее покрытие, тогда как установленные дополнительные



деталь и заготовка (для обеспечения их высокой отражательной способности) остаются без покрытия. После завершения лазерного упрочнения деталь удаляют из полости матрицы, пуансон — из заготовки, а с кромок штампа устраняют остатки поглощающего покрытия, и штамп готов к эксплуатации.

Таким образом, приведенный набор действий позволяет, с одной стороны, увеличить глубину упрочненного слоя рабочих кромок матриц и пуансонов штампов за счет увеличения интенсивности лазерного облучения и, с другой стороны, повысить качество упрочненного слоя благодаря обеспечению дополнительного теплоотвода от облучаемых рабочих кромок. За счет этого в сумме возрастает износостойкость упрочненных таким способом штампов.

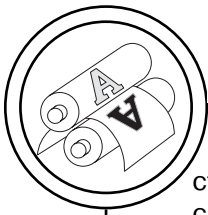
Остановимся теперь на выборе материала и толщины заготовки для обеспечения нашего метода термоупрочнения. Желательно, чтобы такая заготовка была металлической и, к тому же, из металла, обладающего высокой отражательной способностью для применяемого лазерного излучения и высокой теплопроводностью. Это максимально снизит поступление ненужного тепла и ускорит его теплоотвод.

Выбор же толщины заготовки с точки зрения достижения цели нашего метода может быть обоснован следующими соображениями. С одной стороны, толщина заготовки и вырубленной из нее детали должна быть достаточной, чтобы выделенного вблизи кромки штампа тепла

не хватило на расплавление облучаемого края этой заготовки и детали. В противном случае произойдет приваривание детали к кромке матрицы штампа, а заготовки — к кромке пуансона, что повлечет за собой порчу штампа. Кроме того, чем больше толщина заготовки и детали, тем лучше условия реализации дополнительного теплоотвода. С другой стороны, для облегчения установки детали в полости матрицы, а пуансона — в заготовке и дальнейшего их изъятия после облучения толщину детали и заготовки не целесообразно выбирать слишком большой. Исходя из приведенных рассуждений, выбранная толщина заготовки, по крайней мере, должна быть больше глубины упрочненного слоя на кромках штампа.

Рассмотрим более подробно условие не достижения температуры плавления на облучаемой поверхности заготовки и вырубленной из нее детали.

При воздействии лазерного излучения на металлы ограниченной толщины температура на поверхности этих материалов зависит как от параметров облучения, так и от толщины облучаемой заготовки. Если время воздействия лазерного излучения на пластину материала (заготовку)  $t$  будет больше времени прогрева пластины, равного  $h^2/a$ , где  $h$  — толщина пластины,  $a$  — температуропроводность материала пластины, то механизм теплопроводности будет успевать выравнивать температуру по толщине заготовки, и для расчета температур на поверхности такой пластины могут быть применены упрощенные зависимо-



сти. В случае облучения импульсным лазерным излучением время воздействия излучения на пластину равно длительности лазерного импульса  $\tau_u$ , т.е.  $t = \tau_u$ . При использовании же непрерывного излучения времени  $t$  равно времени, за которое лазерный источник со скоростью обработки  $v$  проходит расстояние, равное диаметру сфокусированного лазерного луча  $2r_0$ , т.е.  $t = 2r_0/v$ .

Опираясь на приведенные рассуждения, несложно рассчитать, что при облучении заготовок на режимах, характерных для лазерного упрочнения, такое выравнивание температуры по толщине пластины имеет место (в зависимости от теплопроводности материала) при ее толщине не более 1...3 мм. Такое ограничение вполне нас устраивает, и дальнейшие расчеты будем производить, исходя из условия выравнивания температур по толщине пластины за время действия теплового источника. Из теории тепловых источников известно, что температура в центре зоны облучения в рассматриваемом нами случае равна [4]

$$T = \frac{W_p r_0^2}{2kh} \ln \frac{1,13a\tau_u}{r_0^2} \quad \text{— для им-}$$

пульсного излучения; (1)

$$T = \frac{W_p r_0^2}{2kh} \ln \frac{2,25a}{r_0 v} \quad \text{— для не-}$$

прерывного излучения, (2)

где  $W_p$  — плотность поглощенной лазерной мощности;  $k$  — теплопроводность материала.

В нашем случае температура на поверхности материала не должна превышать температуру его плавления  $T_{пл}$ . Приравняв температуру центра пятна облучения равной температуре плавления  $T_{пл}$  и решая уравнения (1) и (2) относительно  $h$ , можно установить ограничения на толщину заготовки из условия не достижения температуры плавления на облучаемой поверхности. При этом учитываем, что плотность поглощенной поверхностью заготовки лазерной мощности равна

$$W_p = \frac{AE_u}{4\pi r_0^2 \tau_u} \quad \text{— для импуль-}$$

сного излучения; (3)

$$W_p = \frac{AW}{4\pi r_0^2} \quad \text{— для непрерыв-$$

ного излучения, (4)

где  $E_u$  — энергия импульсного лазерного излучения;  $W$  — мощность непрерывного излучения;  $A$  — коэффициент поглощения излучения поверхностью материала заготовки.

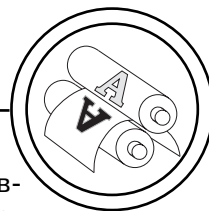
Из (1) и (2) с учетом (3) и (4) имеем:

$$h \geq \frac{AE_u}{8\pi T_{пл} \tau_u} \ln \frac{1,13a\tau_u}{r_0^2} \quad \text{— для}$$

импульсного излучения; (5)

$$h \geq \frac{AW}{8\pi T_{пл}} \ln \frac{2,25a}{r_0 v} \quad \text{— для не-}$$

прерывного излучения. (6)



Выполнение неравенств (5) и (6) обеспечивает упрочнение матрицы и пуансона штампа без приваривания к ним установленных детали и заготовки, что позволяет избежать его порчу.

Предлагаемый способ был использован для повышения износостойкости вырубных штампов, изготавливаемых из инструментальных сталей У8, 9ХС, ХВГ, ШХ15, Х12М и пр. Так, на одном из предприятий полиграфической промышленности данный способ был применен при упрочнении рабочих кромок вырубных штампов, выполненных из стали Х12М. Детали различной конфигурации вырубались такими штампами из латуни или конструкционной стали и имели максимальный диаметр (или максимальное сечение по периметру), не превышающие 10...20 мм. Лазерное облучение матриц и пуансонов таких штампов по предложенному методу проводилось после предварительного чернения химическим травлением (для повышения поглощательной способности) импульсным излучением на режимах  $E_u = 30$  Дж,  $\tau_u = 8$  мс,  $r_0 = 2,5$  мм,  $S = 3,5$  мм (где  $S$  — шаг обработки между отдельными лазерными импульсами). Расчет толщины заготовки, необходимой для реализации данного способа, выполнялся по зависимости (5) и показал, что ее толщина для латуни должна быть  $h \geq 0,65$  мм, а для стали —  $h \geq 2,0$  мм. Поэтому для обработки по нашему методу в качестве заготовки был выбран лист латуни толщиной  $h = 1,0$  мм и размерами 30×30 мм. Выбор по-

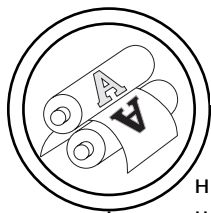
следних размеров был обусловлен габаритами пуансона и необходимостью надежного теплоотвода от него.

После вырубки из латунной заготовки приведенных габаритов пробной детали последняя вставлялась внутрь полости матрицы штампа в одной плоскости с ее рабочими кромками и удерживалась там за счет сил трения. На пуансон одевалась заготовка и устанавливалась также в одной плоскости с его рабочими кромками. Затем проводилось лазерное облучение кромок матрицы и пуансона на указанных выше режимах. Применение предложенного способа упрочнения позволило (без оплавления кромок штампа) получить глубину упрочнения до 250 мкм и микротвердость кромок штампа  $H_\mu = 1200$  кгс/мм<sup>2</sup>. При этом эксплуатационная стойкость штампа повысилась в 3...4 раза по сравнению с его стойкостью после традиционной (объемной) термообработки.

При лазерной термообработке обычным методом (без установки детали и заготовки) для избежания оплавления кромок энергию облучения пришлось уменьшить в 1,5 раза. Это повлекло за собой снижение глубины упрочненного слоя до 150 мкм с одновременным снижением его микротвердости до  $H_\mu = 1000$  кгс/мм<sup>2</sup>. Стойкость штампа в данном случае повысилась только в 2...3 раза по отношению к объемной закалке.

### Выводы

1. На основе анализа возможных технологических методов лазерного термоупрочне-



ния рабочих кромок вырубных штампов предложен усовершенствованный способ такой термообработки, заключающийся в предварительной вырубке пробной детали штампом и последующей установке (перед лазерным облучением) детали в полости матрицы штампа, а пуансона — в полости заготовки. Это позволило, с одной стороны, увеличить глубину упрочненного слоя рабочих кромок штампов за счет увеличения интенсивности лазерного облучения и, с другой стороны, повысить качество упрочненного слоя благодаря обеспечению дополнительного теплоотвода от облучаемых рабочих кромок, что в сумме привело к возрастанию эксплуатационной стойкости штампов.

2. Опираясь на закономерности теории тепловых источников, определены ограничения на выбор толщины пробной заготовки для обеспечения реализации упрочнения без приваривания детали и заготовки к кромкам штампа, что предотвращает его порчу и обеспечивает надежный дополнительный теплоотвод.

3. Описан внедренный промышленный способ упрочнения рабочих кромок вырубных штампов, выполненных из стали X12M. Применение предложенного способа позволило получить повышенную глубину упрочнения и микротвердость кромок штампа, что повысило эксплуатационную стойкость штампа в 3...4 раза по сравнению с его стойкостью после традиционной термообработки.

1. Григорьянц А. Г. Технические процессы лазерной обработки / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров. — М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. 2. А. с. СССР № 194130 В23к 26/00, 1965 г. 3. Патент США № 3894208 В23к 15/00, 1975 г. 4. Лазеры в технологии / Под общ. ред. д.т.н. М. Ф. Стельмаха. — М. : Энергия, 1975.

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

Надійшла до редакції 17.12.10