

УДК 621.375.826:621

**ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ  
ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ  
ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ МАШИН**

© В. П. Котляров, д.т.н., профессор, А. Г. Петренко,  
И. М. Микитенко, НТУУ «КПИ», Киев, Украина

**Описано метод комбінованої лазерної токарної обробки  
пластичних матеріалів, які використовуються  
при виготовленні поліграфічних машин, який дозволяє  
вирішити проблему швидкого видалення і утилізації  
зливної стружки із зони обробки.**

**The method of the combined laser lathe treatment of plastic  
materials which are used for making of printing machines  
is described in this work, which allows to decide the problem  
of rapid delete and utilization of the continuous chip  
from the area of treatment.**

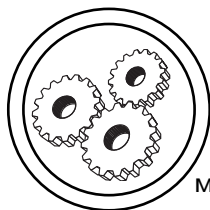
**Постановка проблемы**

Первые попытки использования лазерного излучения в токарной обработке материалов были осуществлены еще в восьмидесятых годах. При токарной обработке пластичных материалов, применяемых для изготовления деталей печатных машин, с большим объемом стружкообразования проблемно удаление сливной стружки из зоны обработки. Для облегчения процесса образования и отвода стружки можно использовать лазерный луч в качестве дополнительного инструмента, способствующего деформации материала режущим клином инструмента и дробления стружки для облегчения ее утилизации.

**Анализ предыдущих разработок**

Известные методы обработки с совмещением лазерного излучения и токарной обработ-

ки позволяют повысить производительность операции при сохранении стойкости инструмента в прежних пределах за счет снижения усилий резания и, как следствие, повышения работоспособности резца. В зависимости от свойства обрабатываемого материала используются различные схемы обработки, в результате которых реализуется тот или иной механизм улучшения обрабатываемости материала заготовки. Так, при обработке высокопрочных в исходном состоянии сплавов (например, Mo + 3 %Nb) для их размягчения выполняют нагрев участка заготовки, непосредственно прилегающего к режущей кромке резца, а съем материала осуществляют на глубину, прогретую до температуры размягчения [1]. При точении заготовок из материалов, упрочняющихся воздействием лазерного излучения за счет жесткого тер-



## МАШИНЫ І АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ

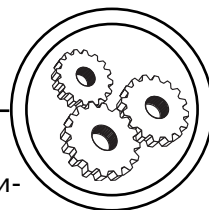
мического цикла, совмещение лазерного и механического воздействия выполняется в той же временной последовательности, однако, зона нагрева смещается в направлении от режущей кромки по поверхности резания на величину, достаточную для структурных превращений разупрочнения в прогревом слое материала (для железоуглеродистых сплавов — для аустенизации) и его охлаждения до температуры, несколько превышающей температуру мартенситного превращения. Такое построение операции позволяет обеспечить съем материала в состоянии наименьшей прочности и, в отличие от первого способа, без контакта резца с высокотемпературной стружкой. Хрупкие и вязкие материалы с высокой степенью деформационного упрочнения и большой величиной критической пластической деформации при разрушении (например, жаропрочные никелевые стали и сплавы) также эффективно обрабатываются в режиме лазерно-токарного точения. Однако, режим облучения выбирается, исходя из максимальной жесткости термического цикла, что для хрупких материалов способствует созданию опережающей трещины перед режущим клином, а в случае вязких — увеличению пластической деформации из-за высокой скорости изменения температуры слоя материала, и при внедрении под этот слой режущего клина происходит локализация деформации в зоне разрушения [2]. Это снижает энергоемкость процесса резания.

Разновидностью лазерно-токарной обработки является метод, при котором перед резцом сфокусированным лазерным лучом формируются отверстия глубиной, равной глубине резания и расположенные в ряд вдоль направления относительного движения режущей кромки резца и заготовки [3]. Основой этого решения является предположение об уменьшении сил резания из-за периодического прерывания нагрузки на резец и создание возможности дробления стружки на элементы по этой причине. Однако, подобное сочетание лазерной обработки и точения требует больших затрат лазерной, низкоэффективной энергии из-за «дорогого» механизма разрушения материала заготовки — испарения, что удорожает операцию.

Общей характеристикой применяемых способов лазерно-токарной обработки является то, что, несмотря на различные схемы воздействия луча и работы резца, эффект достигается за счет облегчения отделения стружки от тела заготовки и ее деформирования. Недостатком этих способов обработки является сложность их применения в современно организованных технологических системах — Гибких Производственных Системах — из-за сложности отвода из зоны резания и утилизации сливной стружки, характерной для всех схем совмещения лазерной и токарной обработки.

Более эффективным кажется способ лазерно-токарной обработки с дроблением стружки, основанный на формировании в поверхностном слое обрабаты-

## МАШИНЫ І АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ



ваемой заготовки следа (и результата) воздействия теплового источника глубиной, превышающей глубину резания, в виде обратной спирали по отношению к траектории относительного движения резца. В результате контрастного изменения свойств материала вдоль длины стружки с шагом, зависящим от соответствующих перемещений пучка излучения и резца по поверхности заготовки, ее деформация передней гранью резца вызовет хрупкое разрушение, то есть дробление стружки.

### Цель работы

Существенным недостатком этого метода является его применимость только для обработки материалов, способных к изменению механических свойств из-за структурных превращений при автозакалке в результате теплового воздействия пучка излучения, тогда как у чистых металлов и большинства легких сплавов и неметаллов не обнаруживаются следов лазерного облучения, поэтому *целью настоящей работы* является создание и исследование технологических возможностей более универсального метода лазерно-токарной обработки.

### Результаты выполненных разработок

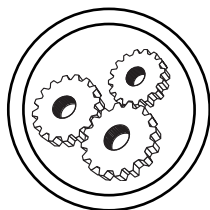
#### *Комбинированный метод лазерно-токарной обработки*

Чтобы повысить вероятность дробления стружки в последнем, наиболее перспективном методе комбинированной обработки, за счет повышения контрастности свойств материала вдоль пути резания, а также

применить его для точения широкого класса конструкционных материалов (чистых металлов, легких сплавов и неметаллов), предлагается использовать комбинированную с поверхностно-пластической деформацией (ППД) лазерную обработку [4].

В результате такой обработки в качестве элемента, способствующего дроблению стружки, образуется локальный след термического воздействия лазерного луча с одновременной пластической деформацией приповерхностного слоя. Структура этого слоя определяется способностями обрабатываемого материала к термической обработке, однако во всех случаях она будет напряжена остаточными напряжениями сжатия при деформирующем воздействии индентора 5 (рис. 1) в виде шарика. Таким образом, у сплавов, подвергающихся термической упрочняющей обработке, след представляет собой уплотненную зону закаленного материала, а для чистых металлов и остальных сплавов след представляет собой пластически деформированную, наклепанную, зону.

Метод комбинированной лазерной токарной обработки реализуется в следующем порядке: заготовка 1 устанавливается в патрон 6 токарного станка, закрепляется резец 2, выбранный в соответствии со свойствами заготовки и содержанием операции. Продольный суппорт устанавливают в конце обрабатываемой поверхности заготовки 1 (в данном случае у патрона), а резец отводят в положение 2 движением поперечного суп-



## МАШИНЫ I АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ

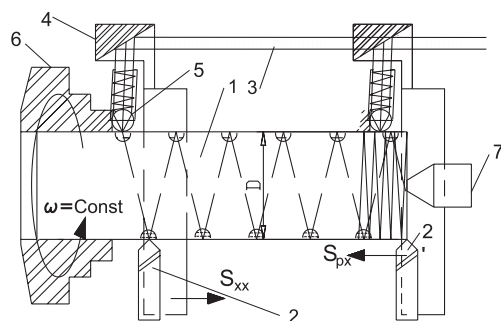


Рис. 1. Схема лазерно-токарной обработки

порта. Этим же движением фокусирующе-деформирующий элемент — шарик из прозрачного для излучения материала (например, плавленного кварца) 5 прижимается к поверхности заготовки 1 с усилием, определяемым жесткостью его пружины. Луч лазера 3 подается параллельно оси заготовки 1 и с помощью плоского зеркала 4 направляется в сторону заготовки, а шариком 5 как линзой концентрируется в зону контакта с заготовкой. Включается быстрый подвод суппорта в начало перехода реверсом привода вращения шпинделя и ходового винта (в положение 2'). В ре-

зультате совместного воздействия лазерного луча 3, сфокусированного шариком 5, и его деформационного воздействия на поверхность заготовки 1 на ней формируется след воздействия в виде левой спирали с шагом равным  $S_{xx}$ . В конце обработки поверхности лазер 3 выключается. Резец 2 перемещается к заготовке 1, а шарик отводится от ее поверхности. Выполняется рабочий ход продольного суппорта с обточкой заготовки 1 при подаче  $S_{p.x.}$ . Снимая стружку, в местах изменения свойств обрабатываемого материала, резец 2 деформирует ее отлично от деформации на остальных участках, что вызывает излом стружки. Длина элемента стружки определяется по графику, приведенному на рис. 2, который построен по следующему алгоритму.

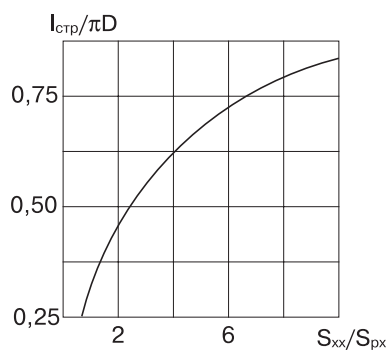
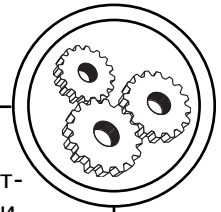


Рис. 2. График зависимости длины стружки от подачи холостого и рабочего хода

Для известного материала заготовки по соответствующим нормативам выбираются режимы обработки, т.е. скорость резания —  $V$  (м/с), подачу —  $S_{px}$  (мм/об) и глубину резания —  $t$  (мм), по которым определяются производные параметры процесса резания: частота враще-

## МАШИНЫ И АВТОМАТИЗОВАННЫЕ КОМПЛЕКСЫ



ния заготовки и линейная скорость перемещения резца при точении:

$$\omega = \frac{1000V}{\pi D}; \quad V_p = \omega S_{px}$$

где  $D$  — диаметр заготовки на участке, где производится обработка.

Необходимую скорость перемещения луча по поверхности заготовки можно определить, исходя из требуемой длины стружки  $l_c$ , принимая неизменной частоту вращения заготовки:

$$S_{xx} = \left( \frac{\pi d}{\pi d - l_c} \right) S_{px}$$

Так как перемещение луча происходит при перемещении зеркала, установленного на суппорте станка, то эта скорость приравнивается скорости холостого хода резца при его перемещении на позицию врезания. Для определения мощности лазерного излучения необходимо учесть следующие параметры: теплофизические свойства материала заготовки (критическую по испарению плотность мощности теплового потока

$W_p^k$ , наведенного лазерным облучением, поглощательные свойства поверхности заготовки на длине волны излучения (коэффициент отражения  $R$ ), размеры зоны облучения (диаметр  $d_0$ ) и скорость перемещения луча по поверхности  $V_l$ . Последняя складывается из скорости вращения шпинделя во время холостого хода и линейной скорости движения суппорта в этом

переходе, при котором в соответствии со схемой обработки, изображенной на рис. 1, наносится след воздействия лазерного излучения:

$$V_l = [V_{xx}^2 + (\omega S_{xx})^2]^{1/2}$$

Площадь участка поверхности, на котором выделяется мощность излучения, представляет собой след перемещения зоны облучения диаметром  $d_0$  со скоростью  $V_l$  за время перемещения луча на расстояние, равное его диаметру, то есть:  $t = d_0/V_l$ :

$$F = \pi d_0^2 / 4 + d_0 V_l t = \pi d_0^2 / 4 + d_0^2$$

Размер зоны облучения  $d_0$  определяется расходимостью луча  $\theta$  и фокусным расстоянием  $f$  преобразующего элемента  $\delta$  (шарика):

$$d_0 = f\theta$$

$$f = R[\operatorname{tg}(\varphi - \varphi_0) + (\operatorname{tg}(\varphi - \varphi_0))],$$

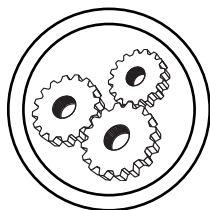
$$\text{где принято: } \frac{\sin \varphi}{\sin \varphi_0} = n,$$

$$\sin \varphi_0 = \frac{1}{n} \sin \varphi, \text{ а } \sin \varphi = \frac{R_l}{r} \quad (R_l =$$

радиус луча на поверхности шарика радиусом  $r$ ).

Эти данные позволяют выбрать режим работы лазера. Его мощность должна быть не менее величины ( $R$  — коэффициент отражения поверхности заготовки):

$$P \geq \frac{FW_p^k}{(1-R)}$$



## МАШИНЫ І АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ

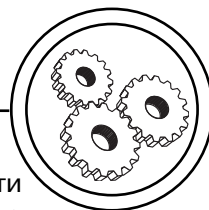
После определения всех параметров обработки и настройки режима точения и облучения выполняется технологическая настройка системы. Операция начинается с положения резца 2 в крайнем положении у конечной части обрабатываемой поверхности заготовки 1. Зеркальный луч лазера 3 ориентируется на границу обрабатываемой поверхности. Заготовка 1 приводится во вращения с расчетной частотой  $\omega$ . Включается лазер и привод холостого хода суппорта станка. На поверхность заготовки наносится след от нагрева материала с шагом, равным  $S_{xx}$ . В положении резца 2 лазер отключается, резец подводится в рабочее положение и ему сообщается рабочая подача  $S_{px}$ . При съеме слоя материала толщиной  $t$  стружка формируется в виде отдельных элементов длиной  $l_c$ , осыпается в поддон станка, откуда может транспортироваться известными средствами. Ограниченные размеры зоны термического влияния, а также плавное нарастание твердости от матрицы до максимального значения в центре зоны не оказывают существенного влияния на стойкость инструмента, а прерывистый характер движения стружки по передней поверхности резца уменьшает ее износ, т.е. может быть причиной некоторого повышения работоспособности инструмента.

Реализация способа лазерно-токарной обработки была осуществлена при точении 4X13 на станке 16K20П. Для полустившей обработки рекомендова-

ны резцы из BK8 с углами:  $\alpha = 8^\circ$ ,  $\gamma = 10^\circ$ ,  $\varphi = 45^\circ$ ,  $\varphi_1 = 45^\circ$ ,  $r = 0,6$  мм.

Режимы резания:  $S_{px} = 0,06$  мм/об,  $V_p = 60$  м/мин,  $t = 0,5$  мм. При диаметре заготовки равном 30 мм частота вращения ее составила  $\omega = 4$  с<sup>-1</sup>, а линейная скорость перемещения резца  $V_l = 0,2$  мм/с. Для стружки длиной 248 мм, образующей спирали  $\varnothing = 18$  мм с 5 витками, подача пучка лазерного излучения составляла  $S_x = 12,5$  мм/об., что при вращении заготовки с частотой  $\omega = 0,1$  с<sup>-1</sup> определяло линейную скорость перемещения луча вдоль заготовки 1,25 мм/с. При длине обрабатываемой поверхности 100 мм время возврата резца в положение для начала точения составляет 1 мин. 20 с. Скорость сканирования луча по поверхности заготовки, состоящая из скорости вращения заготовки и перемещения луча вдоль ее поверхности, равнялась 2,5 см/с. Размер площади поверхности заготовки, на которую фокусируется излучение лазера, определялась по размерам сфокусированного пятна пучка и площади, проходимой лучом в единицу времени. При расходимости пучка  $\Theta = 2$  мрад и радиусе шарика  $R = 6$  мм диаметр зоны облучения  $d_0 = 0,01$  см, а площадь, облучаемая в секунду: 0,025 см<sup>2</sup>/с. В этих условиях обработки был использован непрерывный излучатель на гранате с длиной волны излучения 1,06 мкм, для которого коэффициент отражения стальной поверхности с шероховатостью  $R_a = 0,25$  мкм равен  $R = 0,1$ . Тогда необходимая мощность излуче-

## МАШИНЫ І АВТОМАТИЗОВАНІ КОМПЛЕКСИ



ния для критического значения плотности мощности  $W_p^k = 10^4$  Вт/см<sup>2</sup> составляла величину

$$P = \frac{FW_p^k}{(1-R)} = 260 \text{ Вт.}$$

Был использован излучатель ЛТН-103, обеспечивающий заданный режим генерации.

### Выводы

1. В результате экспериментальной проверки предложенного способа лазерно-токарной обработки были получены следующие результаты: элементная стружка с управляемой длиной, динамометрирование процесса не показало заметного, выделяющегося на шумовом фоне увеличения составляющих сил резания; некоторое

увеличение продолжительности операции на время холостого хода может быть легко уменьшено при использовании более мощных лазеров, позволяющих существенно увеличить скорость отвода резца (перемещение луча).

2. Хотя практическая апробация разработанного метода была выполнена на упрочняющемся материале, очевидна его работоспособность при обработке пластичных металлов, неметаллических материалов, применяемых при изготовлении деталей полиграфического оборудования.

3. Необходимы дополнительные натурные испытания предлагаемого метода для неметаллических материалов, применяемых для изготовления полиграфического оборудования.

1. Лазерно-механическое резание металлов / В. С. Гаврюшенко, Л. В. Скороков, Н. Н. Рыкалин и др. // ФХОМ. — 1985. — № 3. — С. 4—7. 2. Особенности лазерно-механической обработки // В. В. Вашенко, А. Ш. Денч, В. А. Кархин и др. — в Сб. Лазерная технология. — Вильнюс. — 1987. — В. 3. — С. 79—85. 3. Stephen Copley and others. Shaping materials with lasers. — Laser mater. Process. — 1989. — PP. 297—336. 4. Киричек П. А., Котляров В. П., Анякин Н. И. Устройство для создания регулярного микрорельефа. А.с. СССР № 1092035 В24b 39/00, 1984 г.

Рецензент — А. І. Жученко, д.т.н.,  
професор, НТУУ «КПІ»

Надійшла до редакції 26.03.09