

Рис. 4. Зависимость высоты валика  $H$  от скорости наплавки  $V$  при дистанции наплавки  $L$  для порошка ПГ-12Н-02

При увеличении скорости лазерной наплавки высота валиков заметно уменьшается. Так же как при исследовании ширины валиков, такую закономерность можно объяснить тем, что с увеличением скорости наплавки один и тот же объем наносимого материала распределяется на большей длине валика.

Таким образом, исследования показали, что режимы процесса оказывают существенное влияние на форму и размеры поперечного сечения валиков получаемых при лазерной наплавке. Это обстоятельство нельзя игнорировать при назначении режимов наплавки для конкретных деталей, особенно в случаях, когда необходимо точное воспроизведение определенной геометрии и формы наплавляемого объекта. Последнее обстоятельство тем более важно в процессах 3D прототипирования, когда лазерная наплавка является только частью достаточно сложного технологического процесса непосредственного формирования детали.

#### Список литературы

1. Koch J., Mazumder J. Rapid prototyping by laser cladding. In: Denney P., Miyamoto I., Mordike BL, editors. Proceedings of ICALEO '93, 1993, vol. 77: p. 556-65.

## ЛАЗЕРНОЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Девойно О.Г., Луцко Н.И., Ляпковский А.С.

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь,  
scvmed@bntu.by*

В машиностроительном производстве наиболее широко применяется режущий инструмент из спеченных твердые сплавы вольфрамовой и титано-вольфрамовой группы. Качество выпускаемой продукции на предприятиях в значительной мере определяется качеством данного режущего инструмента. Однако стоимость данного инструмента весьма значительна и с каждым годом продолжает расти. Ввиду этого наиболее остро ставятся вопросы повышения стойкости режущего инструмента.

Среди существующих методов поверхностной обработки большой интерес представляет упрочнение твердых сплавов лазерным излучением. В отличие от известных способов объемной термической обработки твердых сплавов процесс лазерного воздействия

может быть оперативно организован в производственных условиях, с минимальными удельными затратами[1].

В настоящий момент существует три основных направления лазерного упрочнения инструментальных твердых сплавов: импульсная лазерная обработка, непрерывная лазерная обработка, текстурирование передней поверхности лазерным лучом,

Сущность метода *импульсной лазерной обработки* (ИЛО) заключается в воздействии короткими импульсами с высокой плотностью мощности ( $q = 10^8$  Вт/см<sup>2</sup>) направленными на поверхность обрабатываемого материала, что приводит к переходу вещества в плазменное состояние. При расширении плазмы возникают очень большие, как при взрыве давления и, если это явление происходит в том случае, когда время воздействия излучения меньше времени распространения ударной волны, то и возникает ударная волна с большой амплитудой на обрабатываемой поверхности. При распространении этой волны вглубь материала и происходит пластическая деформации, приводящая к упрочнению материала. ИЛО является наиболее изученным и распространенным методом упрочнения твердосплавного инструмента.

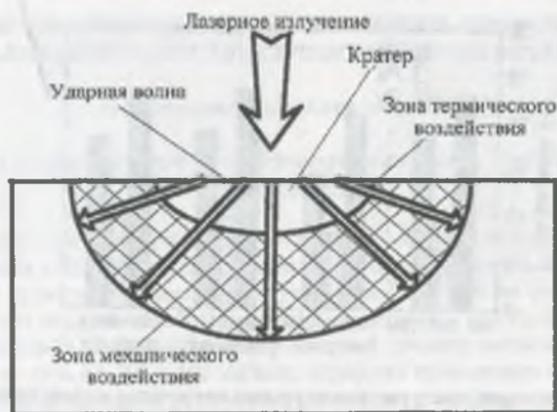


Рис. 1. Схема процессов, развивающихся в материале при ИЛО

*Текстурирование режущего инструмента* лазерным лучом стало возможно в последнее время, благодаря развитию систем транспортирования излучения. Процесс основан на уменьшения сил трения на передней поверхности инструмента, чего добиваются путем нанесения текстур. Эффект снижения коэффициента трения сильно зависит от формы и размера текстуры, значительно более низкие коэффициенты получаются при микро- и наноразмерных текстурах.

Обработка ведется на фемтосекундных лазерах, что позволяет получить необходимые текстуры без значительного теплового вклада в материал. Схемы наложения текстур различают по их положению к направлению схода стружки: перпендикулярная, параллельная и сетчатая текстуры.

Наибольшее распространение получила схема с текстурой перпендикулярной к направлению схода стружки. Она позволяет добиться значительного снижения сил резания, а, следовательно, и увеличение стойкости инструмента.

Технологию текстурирования твердых сплавов рекомендуется применять для модифицирования инструмента применяемого при чистовой и получистовой обработке вязких материалов. Текстурированная поверхность выступает концентратором напряжений, что ведет к охрупчиванию материала и не позволяет вести обработку с ударными нагрузками [2].

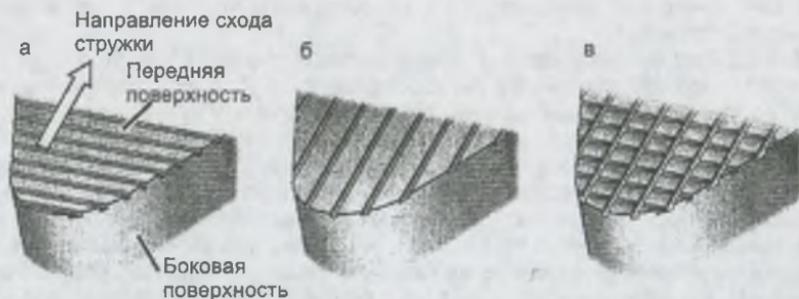


Рис. 2. Принципиальные схемы, указывающие направление текстуры (а) перпендикулярная; (б) параллельная с направление схода стружки; (в) сетчатая текстуры.

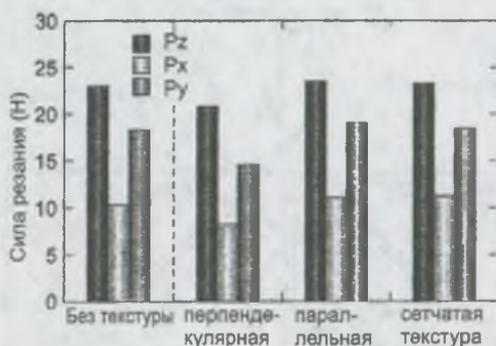


Рис. 3. Влияния вида текстуры на силы резания при точении алюминиевого сплава ( $V = 600 \text{ м/мин}$ ,  $t = 0,2 \text{ мм}$ ,  $S = 0,1 \text{ мм/об}$ )

Применение *непрерывного излучения* для изменения структурно-фазового состава и свойств твердых сплавов является гибким инструментом, позволяющим в более широком, чем для ИЛО, диапазоне изменять условия протекания термических процессов в поверхностных слоях материалов, что соответствующим образом сказывается на изменении их физико-механических характеристик.

Лазерная обработка непрерывным излучением при плотности мощности от  $0,8 \cdot 10^5$  до  $1,4 \cdot 10^5 \text{ Вт/см}^2$  и скорости перемещения луча по образцу  $100 \dots 900 \text{ мм/мин}$  обеспечивает достаточно эффективное упрочнение твердых сплавов группы ВК. При оптимальных режимах облучения стойкость увеличивается в 2...3 раза. Характерным для данного вида обработки, также как и для ИЛО является наличие сетки трещин на поверхности зоны облучения. Однако после удаления дефектного слоя материала износ значительно уменьшается, что указывает на наличие зоны упрочнения, находящейся под слоем, ослабленным трещинами [3]. При обработке непрерывным излучением безвольфрамовых твердых сплавов ТН, с сохранением исходной шероховатости поверхности, микротвердость возрастает в 1,2–1,5 раза и достигает 20,5–22,5 МПа. Также наблюдается существенный рост плотности дислокаций в зоне облучения, появление в поверхностном слое значительных сжимающих напряжений первого рода. Совокупность этих факторов позволяет достичь увеличения стойкости инструмента в 2,4–4,0 раза.

Применение непрерывного излучения для упрочнения инструмента является производительным методом и предоставляет более широкие возможности для модифицирования свойств поверхности сплавов в сравнении с другими видами лазерной обработки.

#### Список литературы

1. Пинахин И. А., Копченков В. Г. Влияние импульсной лазерной обработки твердосплавных режущих инструментов на эффективность обработки металлов резанием // Вестник ДГТУ. – Ростов н/Д, 2010. – №8. – С.1235 – 1240.
2. Noritaka Kawasegia, Hiroshi Sugimogrib, Hideki Morimotoa Development of cutting tools with microscale and nanoscale textures to improve frictional behavior // Precision Engineering – 2009. – №33. – С. 248–254.
3. Ярьско С.И. Физические и технологические основы упрочнения твердых сплавов: Монография / С.И. Ярьско. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2006. – 244 с.

### ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО НАГРЕВА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ

Кардаполова М.А., Кавальчук О.Н.

*Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь,  
scvmed@bntu.by*

На микротвердость покрытий после электроискровой и последующей лазерной обработки значительное влияние оказывает состав электрода. Предварительное электроискровое легирование проводилось на серийной установке ЭФИ-46А на средних режимах по току. Последующая лазерная обработка образцов проводилась на СО<sub>2</sub>-лазере непрерывного действия «Комета-2» со следующими параметрами: диаметр пятна  $d = 1$  мм; мощность  $P = 1$  кВт; скорость луча  $v = 200$  и  $500$  мм/мин; обработка проводилась в фокусе. Электроискровая обработка производилась различными электродами: графит, молибден, вольфрам и ВК20 (80% карбида вольфрама, 20 кобальт).

Для исследований были использованы образцы стали 45 с твердостью сердцевины 40...45 HRC.

Изучали распределение микротвердости по сечению образца на приборе ПМТ-3. Микротвердость измерялась на глубину 500 мкм, и рассчитывалось среднее значение по 25 измерениям. Полученные результаты были проанализированы и на их основе построена диаграмма, наглядно показывающая влияние состава электрода на микротвердость упрочненных слоев после лазерной обработки (рис. 1).

Наименьшая микротвердость наблюдается у образцов, легированных молибденом:  $H_{\mu} = 5140$  МПа при скорости перемещения лазерного луча  $v = 200$  мм/мин,  $H_{\mu} = 7870$  МПа при  $v = 500$  мм/мин. Наибольшая микротвердость наблюдается у образцов, легированных вольфрамом:  $H_{\mu} = 6500$  МПа при скорости перемещения лазерного луча  $v = 200$  мм/мин,  $H_{\mu} = 9750$  МПа при  $v = 500$  мм/мин.

Микроструктурный анализ проводился для ВК20 покрытий до и после лазерной обработки с использованием микроскопа МКИ-2М-1. На рис. 2а представлено изображение микроструктуры электроискрового ВК20 покрытия. На снимке видно, что толщина полужелтого слоя составила 20–30 мкм, тогда как зона термического влияния (ЗТВ) простирается приблизительно на 15–20 мкм в основу. На фотографии можно увидеть четкую границу между покрытием и основой, а также поры и микротрещины.