

точении двумя резцами совместно с делением глубины резания значения параметра шероховатости  $Ra$  на 10-15% меньше для варианта выполнения чернового рабочего хода с модулированной подачей Данное явление можно объяснить тем, что при обработке двумя резцами одновременно взаимодействуют два нестационарных по своей природе процесса резания. При этом проявляются резонансные явления, что приводит к возникновению вибраций и как следствие к увеличению шероховатости обработанной поверхности. Это подтверждается результатами выполненных исследований: шероховатость поверхности, обработанной двумя резцами последовательно, значительно ниже шероховатости поверхности, обработанной двумя резцами совместно; в случае выполнения чернового рабочего хода с включением в процесс резания кинематической неустойчивости в результате наложения асинхронной силы, возникающей при изменении подачи, на систему, находящуюся в колебательном движении, колебания гасятся, шероховатость обработанной поверхности при этом уменьшается. Анализ ряда волнограмм показал, что при обработке с модулированной подачей высота продольной волнистости также на 20-25% меньше, чем при обработке с постоянной подачей, равной среднему значению модулированной.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Каштальян, И.А. Автоматизированный синтез структуры операции, выполняемой на двухсуппортом токарном станке с ЧПУ /И.А. Каштальян, Б. Орукари, П.А. Августовский// Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино-и приборостроении: материалы научно-практической конференции, Минск, 1–2 марта 2018 г. / редкол.: А.М. Маляревич [и др.]. – Минск, 2018. – С. 51 – 53.

2. Каштальян, И.А. Точность размеров и формы деталей, изготовленных на двухсуппортных токарных станках с числовым программным управлением/ И.А. Каштальян, В.К. Шелег, Б. Орукари // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. – Минск: ОИМ. – 2017. – Вып. 6 – С. 150 – 155.

3. Каштальян, И.А. Шероховатость и волнистость поверхностей деталей. Обработанных на двухсуппортных токарных станках с ЧПУ/ И.А. Каштальян, Б. Орукари // Вестник ПГУ. – 2017. – № 3. - С. 9-15.

УДК 621.9.048.7

### **ПОВЕРХНОСТНАЯ МИКРОТВЕРДОСТЬ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ**

*Крайко С.Э.<sup>1</sup>, Шелег В.К.<sup>1</sup>, Кравчук М.А.<sup>1</sup>*

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Одним из условий рентабельности применения штамповки в производстве является высокая стойкость штампов [1]. Широкое внедрение новых процессов деформирования, освоением штамповки труднодеформируемых металлов и сплавов, неметаллических материалов, характеризующихся, как правило, более тяжелыми условиями эксплуатации штампового инструмента, актуальность проблемы повышения стойкости штампов возрастает. Среди прогрессивных технологий увеличения длительности работы штампового инструмента широ-

кое применение нашли процессы обработки с применением высококонцентрированных источников энергии [2,3]. Одним из таких процессов является лазерная поверхностная закалка рабочих поверхностей штампового инструмента [4].

В результате предварительных исследований по мощности, предпочтение было отдано импульсному излучению. Для проведения серии экспериментов была выбрана лазерная установка «Квант-18М», работающая в импульсном режиме.

Эффективность использования лазерной технологии в процессе закалки определяется коэффициентом поглощения инфракрасного излучения. Величина коэффициента поглощения чистыми поверхностями металлов составляет всего 5...10 %, поэтому процессы закалки таких поверхностей в производственных условиях не применяются. Наиболее перспективным видом поглощающих покрытий являются покрытия в виде краски, которую можно нанести кистью, краскораспылителем или другим способом. Сравнительный анализ процесса закалки при фосфатном покрытии красками с сажистыми пигментами и красками с наполнителями из окислов металлов, а также образцов без покрытия показал, что при малых мощностях глубина закалки при первом покрытии в 2 раза превышает глубину закалки без покрытия, краска с наполнителями из окислов металлов дает глубину приблизительно на 10 % меньше по сравнению с фосфатным покрытием, а покрытия, содержащие сажистые пигменты, не имеют преимущества перед образцами без покрытия.

Приведенные выше способы подготовки поверхности детально разработаны в основном для непрерывного диапазона излучения с длинной волны 10,6 мкм в инфракрасной области спектра. Значительно меньше внимания уделено области применения поглощающих покрытий для увеличения зоны лазерного воздействия (ЗЛВ) при импульсном излучении с длинной волны 1,06 мкм.

В данной работе исследовалась эффективность применения при лазерной закалке покрытий различного состава при воздействии импульсного излучения по следующей методике. Для проведения эксперимента были отобраны, три вида покрытий и нанесены на группы образцов: окисная пленка, образованная воздействием ортофосфорной кислоты; пленка из краски с наполнителем из окисла металла желтого цвета; комплексное покрытие, совмещающая в себе покрытия двух первых групп. В четвертой группе образцов, контрольной, для сравнения полученных результатов, покрытие отсутствовало. Толщина покрытия, по предварительным исследованиям, колебалась в пределах от 8 до 10 мкм. Образцы изготавливали из сталей У10, ХВГ, Х12М. Особое внимание уделялось термически обработанной стали Х12М, которая при стандартной объемной закалке может давать пятнистую твердость. Облучение производили при плотности мощности излучения  $W_p = 8,4 \times 10^4$  Вт/см<sup>2</sup> для всех четырех групп образцов. Поглощательную способность покрытий оценивали по глубине ЗЛВ, которую исследовали с помощью металлографического анализа. Из закаленных образцов делались шлифы и проводились исследования микротвердости на лабораторной установке ПМТ-3.

Сравнительная оценка металлографического исследования и промеров микротвердости показала, что при равных условиях облучения наибольшая поглощательная способность для термически обработанной стали Х12М свойственна комплексному покрытию. Оно характеризуется относительно большей глуби-

ной ЗЛВ  $h = 0,40 \dots 0,45$  мм и поверхностной микротвердостью до 10000...11000 МПа. Это, вероятно, обусловлено незначительным увеличением шероховатости металла, предварительно обработанного ортофосфорной кислотой и лучшей адгезией пленки из краски с наполнителем из окисла металла желтого цвета с поверхностью (в другой группе образцов часто наблюдалось отслаивание покрытия в соседних площадках контакта). У других групп образцов значения глубины ЗЛВ и поверхностной микротвердости соответственно составили: для покрытия из краски с наполнителем из окисла металла желтого цвета -  $h = 0,25 \dots 0,30$  мм и 8 000...8 500 МПа, для окисной пленки ортофосфорной кислоты -  $h = 0,20 \dots 0,25$  мм и 8 000...8 200 МПа. На образцах без покрытия, в подтверждение литературных данных, значительных изменений поверхностной микротвердости не наблюдалось.

Таким образом, было установлено, что наибольшая эффективность в условиях лазерной термообработки импульсным излучением для стали Х12М без оплавления поверхности достигнута применением комплексного покрытия из краски с наполнителем из окисла металла желтого цвета и окисной пленки ортофосфорной кислоты.

#### **СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Михайленко Ф.П. Стойкость разделительных штампов. М.: Машиностроение, 1976. – 208с.
2. Белый А.В. Поверхностная упрочняющая обработка с применением концентрированных потоков энергии. – Мн., 1990. – 78с.
3. Коган Я.Д. Перспективы развития технологий поверхностного упрочнения материалов деталей машин и инструмента // МиТОМ. 1993. №8. С.5-9.
4. Маликов Л.С. и др. Лазерное упрочнение штампового инструмента // Технология и организация производства. – Киев, 1986. №2. С. 46-48.

УДК 621.9

## **ИННОВАЦИИ ПРИ СОЗДАНИИ МЕТОДА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО ЗВУКОВОГО УПРОЧНЕНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ИНСТРУМЕНТА**

*Шелег В.К.<sup>1</sup>, Жигалов А.Н.<sup>2</sup>*

1) Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь;

2) Барановичский государственный университет

Барановичи, Республика Беларусь.

В настоящее время твердосплавный инструмент широко применяется в современном машиностроении для обработки различных поверхностей. Но, к сожалению, такие недостатки твердых сплавов, как их повышенная хрупкость, относительно невысокие значения предела прочности при изгибе (98...200 кгс/мм<sup>2</sup>) и ударной вязкости (25...75 КДж/м<sup>2</sup>) значительно снижают эффективность использования твердосплавных пластин при прерывистом резании в связи с тем, что такие пластины работают в наиболее тяжелых условиях, связанных с наличием ударных нагрузок, при частых циклических изменениях температурного поля на режущем клине инструмента при рабочих и холостых ходах, неблагоприятном расположении режущего клина в процессе стружкообразова-