

ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ МЕТОДОМ ОБЪЕМНОГО ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ

Пинахин И. А., Ковалевский С. В., Черниговский В. А.

Представлен метод объемного импульсного лазерного упрочнения (ОИЛУ). Приведены перспективы применения ОИЛУ сравнением его с известными методами упрочнения с использованием лазера. Показано, что новый метод лазерного упрочнения позволяет улучшать свойства твердых сплавов по локальному объему за счет однократного лазерного импульса вследствие возникновения и прохождения в материале ударной волны. Указано, что оптимизация режимов ОИЛУ (полезная энергия облучения, длительность импульса, диаметр луча лазера, расстояние от места облучения до главной режущей кромки) производится при помощи рентгеноструктурного анализа за счет применения режимов упрочнения, при которых наблюдалось наибольшее увеличение степени дефектности структуры образцов. Приведены результаты производственных стойкостных испытаний твердосплавных режущих инструментов на предприятиях России и Украины и расчетные значения показателей, влияющих на эффективность обработки (коэффициент вариации стойкости, гамма-процентная стойкость).

Представлено метод об'ємного імпульсного лазерного зміцнення (ОІЛЗ). Наведено перспективи застосування ОІЛЗ порівнянням його з відомими методами зміцнення з використанням лазера. Показано, що новий метод лазерного зміцнення дозволяє покращувати властивості твердих сплавів по локальному обсягом за рахунок одноразового лазерного імпульсу внаслідок виникнення та проходження в матеріалі ударної хвилі. Зазначено, що оптимізація режимів ОІЛЗ(корисна енергія опромінення, тривалість імпульсу, діаметр променя лазера, відстань від місця опромінення до головної різальної крайки) проводиться за допомогою рентгеноструктурного аналізу за рахунок застосування режимів зміцнення, при яких спостерігалось найбільше збільшення ступеня дефектності структури зразків. Наведено результати виробничих стойкостних випробувань твердосплавних ріжучих інструментів на підприємствах Росії і України і розрахункові значення показників, що впливають на ефективність обробки (коефіцієнт варіації стійкості, гамма-відсоткова стійкість).

Presented a method to volume pulsed laser hardening (VPLH). Given application prospects VPLH comparison with the known methods using a laser hardening. It is shown that the new method of laser hardening can improve the properties of hard alloys on the local volume due to a single laser pulse due to the occurrence and the passage of the shock wave in the material. Indicated that the optimization of VPLH (effective irradiation energy, pulse width, beam diameter, of the laser irradiation distance from the cutting edge up) produced by X-ray diffraction analysis through the use of modes of hardening, in which there was the greatest increase in the degree of imperfection of the sample structure. The results of field tests cemented carbide cutting tools for resistance plants in Russia and Ukraine and calculated values of the parameters affecting the efficiency of processing(coefficient of variation of resistance, gamma-percent resistance).

Пинахин И. А.

канд. техн. наук, доц. СКФУ
ipinakhin@list.ru

Ковалевский С. В.

д-р техн. наук, проф., зав каф. ТМ ДГМА

Черниговский В. А.

канд. техн. наук, доц. СКФУ

СКФУ – Северо-Кавказский федеральный университет, Россия, г. Ставрополь

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

УДК 621.891

Пинахин И. А., Ковалевский С. В., Черниговский В. А.**ПОВЫШЕНИЕ СТОЙКОСТИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ МЕТОДОМ ОБЪЕМНОГО ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ**

Всегда была и остается актуальной задача снижения расхода материалов при изготовлении и эксплуатации изделий. Один из распространенных путей ее решения – применение различных методов упрочнения, которые позволяют в большинстве случаев комплексно улучшать исходные химические, физические, механические свойства материалов. К наиболее широко известным традиционным методам модификации структуры материалов с целью повышения их свойств, т. е. упрочнения, относятся: термические, химические, химико-термические, физико-химические, электрохимические, механические обработки. Создание и применение источников высококонцентрированных потоков энергии привело к созданию электрофизических методов упрочнения: ионно-плазменные, магнитно-импульсные, радиационные, наплавка, плазма газовых разрядов, электроискровые, лазерные и др. Каждый из известных методов упрочнения материалов имеет свои индивидуальные особенности, что предопределяет их сферу применения.

Следует отметить, что большинство известных методов упрочнения, в том числе и с использованием лазера, позволяют упрочнять только поверхность материала, что при применении, например, перетачиваемых инструментальных пластин является неэффективным. Кроме того, методы, основанные на термическом воздействии на материал (поверхностная лазерная закалка, импульсная лазерная обработка) не являются универсальными. Так, например, при использовании термического воздействия эффект упрочнения для твердых сплавов наблюдается только для группы ВК [1, 2]. Также данные методы имеют высокую трудоемкость и энергоемкость, что связано с необходимостью перекрытия зон упрочняемой поверхности [3]. При упрочнении твердых сплавов поверхностной лазерной закалкой может наблюдаться наличие сетки трещин на поверхности зоны облучения, под которой находится упрочненный слой [4]. Механическое удаление дефектного слоя приводит к повышению стоимости упрочнения. Для предупреждения появления трещин в процессе лазерной закалки используют сплавы с повышенным содержанием связующей фазы, что не всегда возможно, или проводят упрочнение с предварительным нагревом [5]. С целью повышения эффективности упрочнения поверхностную лазерную закалку и импульсную лазерную обработку часто применяют в комплексе с другими методами упрочнения [6, 7]. Лазерный наклеп на сегодняшний день является одним из самых перспективных и широко используемых за рубежом методов поверхностного упрочнения [8, 9]. Он позволяет упрочнять материал за счет образования ударной волны, которая приводит к появлению сжимающих напряжений на глубину до 3,0 миллиметров.

Таким образом, перспективным является разработка объемного метода упрочнения твердосплавного режущего инструмента, который будет универсальным и относительно недорогим.

Целью работы является оценка эффективности использования метода объемного импульсного лазерного упрочнения для твердосплавного режущего инструмента.

Метод объемного импульсного лазерного упрочнения (ОИЛУ) разработан в Северо-Кавказском федеральном университете (СКФУ). Данный метод позволяет модифицировать структуру материалов по локальному объему (до 30 миллиметров во всех направлениях от места воздействия лазерного импульса) (рис. 1).

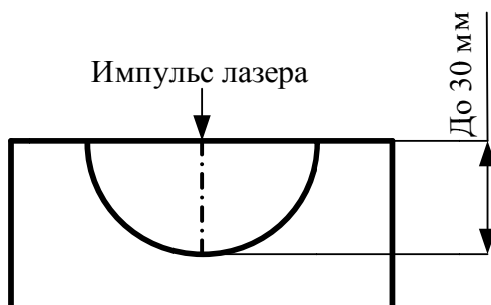


Рис. 1. Зона упрочнения материала при использовании ОИЛУ

Метод ОИЛУ основан на воздействии на материал однократного высокоэнергетического лазерного импульса (полезная энергия 200–400 Дж), что при длительности импульса $0,6 \cdot 10^{-3} - 1,2 \cdot 10^{-3}$ с и диаметре луча лазера 1,2–2,0 мм позволяет облучать образец с плотностью энергии 50–278 МДж/м² или с плотностью мощности 62,5–347,5 ГВт/м². Лазерный импульс, поданный на материал, инициирует возникновение и прохождение упругой ударной волны (рис. 2). Возбужденная волна приводит к упрочнению материала по локальному объему.

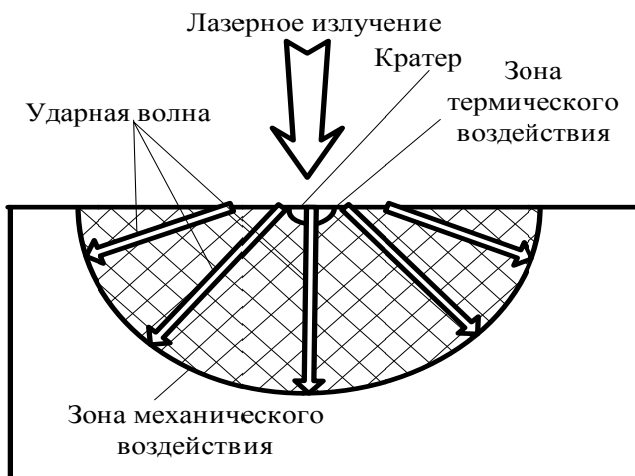


Рис. 2. Механизм объемного импульсного лазерного упрочнения

О прохождении ударной волны свидетельствуют результаты рентгеноструктурного анализа и тензометрии, проведенной с использованием системы LabVIEW [10].

Фотографическая съемка процесса ОИЛУ показала выброс расплавленного материала на расстояние до 0,5 м (рис. 3).

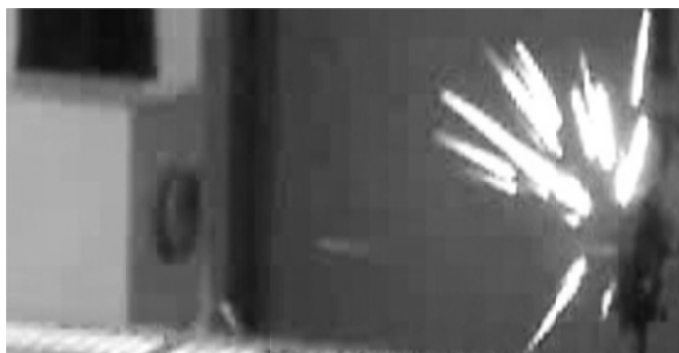


Рис. 3. Выброс расплавленного твердого сплава Т5К10 после ОИЛУ

В месте воздействия лазерного импульса образуется кратер (рис. 4). При этом наблюдается потеря массы образца, величина которой зависит от диаметра луча лазера и полезной энергии облучения [11].



Рис. 4. Твердосплавные пластины, прошедшие ОИЛУ

При помощи системы LabVIEW было установлено, что имеет место запаздывание времени возникновения и прохождения ударной волны на 0,3–0,8 с (из-за малых габаритов исследуемых образцов время на прохождение ударной волны через материал не учитывалось). При этом время запаздывания зависит от режимов ОИЛУ, химического состава и геометрической формы исследуемого образца. Зона термического воздействия при ОИЛУ ограничена кратером.

Исходя из вышесказанного, можно констатировать, что причиной возникновения ударной волны является перераспределение тепловой энергии, накопленной в зоне воздействия лазерного импульса, и преобразование ее в механическую энергию ударной волны. В связи с высокими температурами в зоне кратера (до 40000 °С) наблюдается образование в данной зоне плазмы (при помощи системы LabVIEW были определены токовые характеристики «плазменного облака» в зависимости от времени), которая препятствует выходу тепловой энергии. Также процессу перераспределения энергии способствует краткосрочность процесса по времени. Несмотря на проделанную работу, остается еще много вопросов по механизму ОИЛУ. В дальнейшем нами запланирован ряд экспериментов по дальнейшему изучению процессов происходящих при ОИЛУ.

Результаты проведенных исследований показали, что для оптимизации режимов ОИЛУ (полезная энергия облучения, длительность импульса, диаметр луча лазера) наиболее рациональным является использование рентгеноструктурного анализа. Это позволяет значительно сократить трудоемкость и себестоимость затрат на подготовку режущего инструмента к работе в реальных условиях производства [12]. Рентгеноструктурный анализ проводился на рентгеновских дифрактометрах «ARL Xtra», «Дифрей-401» и «Минилаб-6» для образцов из твердых сплавов ВК6, ВК8, Т5К10, Т15К6, ТТ7К12, КНТ-16, Sandvik. Оптимизация режимов ОИЛУ достигалась за счет применения режимов упрочнения, при которых наблюдалось наибольшее увеличение степени дефектности структуры образцов (уширение дифракционных линий, уменьшение межплоскостных расстояний, повышение интенсивности отраженных импульсов). Топология зоны упрочнения выбиралась исходя из вида режущего инструмента и наличия переточек.

Производственные испытания были проведены на 8 предприятиях России и Украины. Всего было испытано 12 партий режущих инструментов с общим количеством 1200 штук. При их проведении нами контролировалась чистота эксперимента, что заключалось в сравнении результатов испытаний исходного упрочненного инструмента с исходным неупрочненным, упрочненного и неупрочненного после первой переточки, упрочненного и неупрочненного после второй переточки и т. д. Это связано с тем, что в результате заточной операции могли меняться свойства режущих инструментов.

Для оценки стойкости режущих инструментов, прошедших ОИЛУ, нами были использованы следующие показатели: средняя стойкость инструментов \bar{T} , коэффициент вариации стойкости K_T , гамма-процентная стойкость T_γ (табл. 1).

Таблица 1

Результаты проведения производственных испытаний твердосплавных режущих инструментов после ОИЛУ

Предприятие	Твердый сплав	Режущий инструмент	\bar{T} , мин	K_T	T_γ , мин
1. Ковровский завод имени В.А. Дегтярева	ВК8	Проходные резцы с напайными пластинами	$\frac{36}{74}$	$\frac{0,28}{0,21}$	$\frac{18}{38}$
2. Ставропольский завод автоприцепов	T5K10, T15K6, TT7K12	Проходные резцы с 3-х, 4-х, 5-ти гранными пластинами	$\frac{22}{48}$	$\frac{0,28}{0,09}$	$\frac{16}{34}$
3. Новокраматорский машиностроительный завод	T5K10, T15K6	Проходные резцы с 4-х гранными пластинами	$\frac{4,4}{9,2}$	$\frac{0,15}{0,1}$	$\frac{1,8}{4,6}$
4. ПО «Волгоцеммаш» г. Тольятти	КНТ-16	Проходные резцы с напайными пластинами	$\frac{52}{106}$	$\frac{0,2}{0,15}$	$\frac{21}{48}$
5. ОАО СТАПРИ– ставропольский завод поршневых колец	ВК6	Проходные резцы с напайными пластинами	$\frac{34}{72}$	$\frac{0,24}{0,18}$	$\frac{26}{52}$
6. ЗАО «КомТех-Плюс» г. Ростов н/Д.	Sandvik	Проходные резцы с 4-х гранными пластинами	$\frac{48}{68}$	$\frac{0,12}{0,1}$	$\frac{28}{42}$
В знаменателе показаны значения \bar{T} , K_T , T_γ для режущих инструментов, прошедших ОИЛУ, в числителе для неупрочненных					

В таблице 1 представлены результаты производственных испытаний твердосплавных резцов. Все данные говорят о росте объемной стойкости инструментов, прошедших ОИЛУ в 1,42–2,18 раза (для сплавов российского производства в 2,04–2,18 раза). Для всех партий инструментов наблюдается снижение коэффициента вариации стойкости в 1,2–3,1 раза. Более существенные результаты имеют место в повышении гамма-процентной стойкости (без учета твердого сплава Sandvik). Так при вероятности 0,9 это повышение происходит в 2,11–2,56 раза.

ВЫВОДЫ

Разработан метод объемного упрочнения твердосплавного режущего инструмента (до 30 миллиметров от места воздействия лазерного луча). Полученный метод ОИЛУ имеет низкие трудоемкость и энергоемкость за счет однократного воздействия лазерного луча. Оптимизация режимов ОИЛУ (полезная энергия облучения, длительность импульса, диаметр луча лазера) проводится при помощи рентгеноструктурного анализа по оценке изменения степени дефектности структуры материалов. Результаты производственных испытаний режущих инструментов из твердых сплавов BK6, BK8, T5K10, T15K6, TT7K12, KHT-16, Sandvik показали повышение стойкости упрочненных инструментов в 1,42–2,18 раза, снижение коэффициента вариации стойкости в 1,2–3,1 раза, повышение гамма-процентной стойкости 2,11–2,56 раза. Снижение коэффициента вариации стойкости и повышение гамма-процентной стойкости говорит о целесообразности использования режущих инструментов, упрочненных ОИЛУ, на автоматических линиях, когда производится принудительная смена инструментов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярьсько С. И. *Физические и технологические основы упрочнения твердых сплавов* / С. И. Ярьсько. – Самара : изд-во Самарского научного центра РАН, 2006. – 244 с.
2. *Лазерная упрочняющая обработка твердых сплавов* / Лапковский А. С., Кавальчук О. Н., Веремей П. В. / *Материалы международной научно-технической конференции. Часть 1.* – Могилев, 19–20 апреля 2012 г. – С. 39 – 40.
3. Коваленко В. С. *Упрочнение деталей лучом лазера* / Коваленко В. С., Головкин Л. Ф., Меркулов Г. В. – Киев : Техника, 1981. – 132 с.
4. *Laserinduzierte Rebillung in Hartmetallen* / [Schultrich B., Bahr H. A., Mueller H., Scheibe H. J.] // VIII Symposium «Verformung und Bruch». – Magdeburg, 6 – 8 Sept. – 1988.
5. *Surface pulsed quenching of cemented carbides* / [Jilek M., Hofmann J., Subrt J., Peltan P.] // *Adv. Hard Mater. Prod.: Metal Powder Rept. Conf., London, 11 – 13 Apr., 1988: Proc.* – Shrewsbury, 1988. – P. 23/1 – 23/9.
6. *Повышение трибологических свойств поверхностных слоев инструментальных материалов с помощью лазерного излучения* / [Федин А. В. и др.] // *Проблемы машиноведения: трибология – машиностроению. Сборник научных трудов по итогам всероссийской научно-технической конференции.* – Москва, ИМАШ, 2012. – С. 92 – 94.
7. *Структура и свойства инструмента из нитроцементованной стали 20X13 после лазерной обработки* / [Тарасов А. Н., Томашевская В. В., Нятин А. Г.] // *Технология металлов*, 2002. – №11. – С. 41 – 44.
8. *Durability of metal aircraft structures* / [Atluri S. N., Harris C. E., Hoggard A., Miller N. G. and others] // *Proceedings of the International Workshop on Structural Integrity of Aging Airplanes, March 31 – April 2, 1992, Atlanta.*
9. *Application of laser peening to titanium alloys* / [David W., Allan H. Clauer, Ravi Ravindranath] // *ASME/JSME 2004 Pressure Vessels and Piping Division Conference, San Diego, CA, July 25-29, 2004.*
10. *Influence of by volume impulsive laser work hardening on durability of carboloies* / [Pinahin I. A., Toeskin S. A., Yagmurov M. A. and others] // *3rd International Scientific and Practical Conference «Science and Society» held SCIEURO in London 20-21 March 2013, P. 50 – 58.*
11. Пинахин И. А. *Объемное импульсное лазерное упрочнение режущих инструментов. Твердые сплавы* / И. А. Пинахин. – LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. Germany, 2012. – 132 с.
12. *Влияние импульсной лазерной обработки твердосплавных режущих инструментов на эффективность обработки металлов резанием* / [Пинахин И. А., Копченков В. Г.] // *Вестник ДГТУ.* – Ростов н/Д, 2010. – № 8. – С. 1235 – 1241.