

УДК 621.891

**Пинахин Игорь Александрович, Черниговский Вячеслав Алексеевич,
Ягмуров Михаил Алексеевич**

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ОБЪЕМНОГО ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ (ОИЛУ)

Статья посвящена разработке методологического подхода, учитывающего взаимосвязь между режимами объемного импульсного лазерного упрочнения (ОИЛУ) и изменением физико-механических свойств упрочняемых материалов в лабораторных и производственных условиях.

Ключевые слова: объемная импульсная лазерная обработка, абразивное изнашивание, твердые сплавы, рентгеноструктурный анализ, прочность на изгиб, рабочие органы машин.

**Pinahin Igor Aleksandrovich, Chernigovskiy Vyacheslav Alekseevich,
Yagmurov Mikhail Alekseevich**

METHODOLOGICAL BASICS FOR EMPLOYING VOLUME IMPULSE LASER HARDENING METHOD (VILH)

The article dwells on the development of a methodological approach taking into view the connection between the modes of the volume impulse laser hardening (VILH) and the alteration in the physical-chemical properties of the materials hardened under laboratory and manufacturing conditions.

Key words: volume impulse laser hardening, abrasive wear, hard metals, X-ray structure analysis, flexural strength, working parts of machine.

С целью снижения расхода материалов и стоимости работ широко используются различные методы упрочнения, большинство из которых носят поверхностный характер (нанесение покрытий, поверхностное пластическое деформирование, лазерная закалка с использованием лазеров непрерывного или импульсного действия и др.). В случаях, когда при потере геометрических параметров изделие теряет свою работоспособность, применение зарекомендовавших себя на практике поверхностных методов упрочнения является экономически оправданным. Ряд изделий различного назначения (металлорежущий инструмент, буровые коронки для перфораторного бурения, дорожные резцы, рабочие органы сельскохозяйственных и землеройных машин и другие виды продукции) сохраняют работоспособность при некоторой величине износа или имеют несколько технических ресурсов работы (например, для режущего инструмента несколько переточек или периодов стойкости). Для данного вида изделий экономически более эффективным является применение объемных методов упрочнения. Одним из таких методов является объемное импульсное лазерное упрочнение (ОИЛУ).

Метод ОИЛУ разработан в Северо-Кавказском федеральном университете на кафедре «Технология машиностроения и технологическое оборудование». Объемное импульсное лазерное упрочнение осуществляется путем локального однократного облучения лучом неодимового лазера импульсного действия ГОС 1001 при следующих режимах: энергия импульса $E = 200 - 400$ Дж, длительность импульса $0,8 \cdot 10^{-3}$ с, диаметр луча лазера 1,4–2,5 мм. В результате воздействия импульса лазера материал нагревается до температуры $40 \cdot 10^3 - 60 \cdot 10^3$ К (происходит переход в состояние плазмы), что приводит к испарению материала (20–70 мг в зависимости от режимов облучения) и образованию ударной волны (рисунок 1) [1].

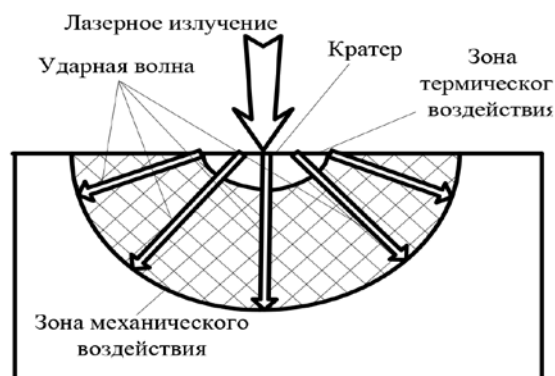


Рис. 1. Схема процессов, развивающихся в материале при ОИЛУ

Возникновение и прохождение ударной волны в материале было подтверждено результатами тензометрии (рис. 2, 3) и рентгеноструктурного анализа (рис. 4) [2, 3].

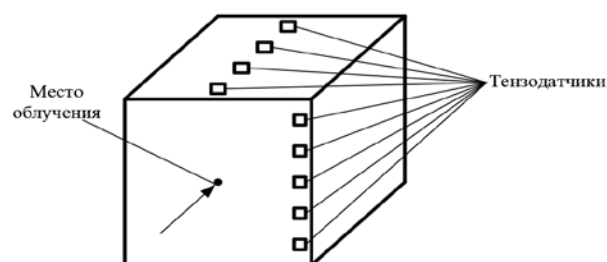


Рис. 2. Схема расположения датчиков на образце

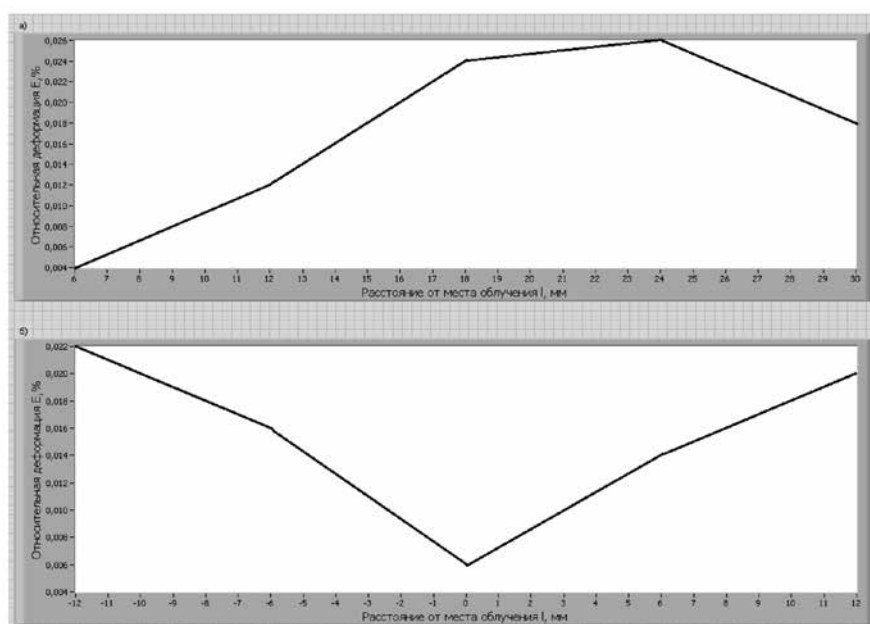


Рис. 3. Зависимость величины относительной деформации от расстояния от места облучения (плотность мощности облучения $3,6 \cdot 10^{13}$ Вт/м²: а – продольное направление; б – поперечное направление)

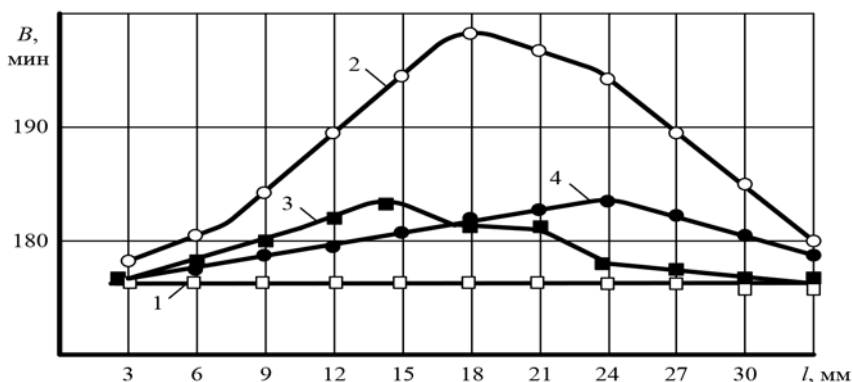


Рис. 4. Изменение ширины линий карбида вольфрама по длине образца твердого сплава ВК8 ($d = 2,0$ мм):
1 – исходные образцы; 2 – $E = 204$ Дж/мм²; 3 – $E = 102$ Дж/мм²; 4 – $E = 306$ Дж/мм²

В основе методологии, несомненно, лежит диалектический подход, позволяющий рассматривать проблемы в их постоянной взаимосвязи, движении и развитии. В большинстве случаев для технических областей знания в основе методологии лежит системный подход [3].

Процесс, связанный с обработкой металлов резанием, по определению проф. М. И. Клушина [4] представляет собой систему резания, состоящую из элементов, которые в данном случае являются отдельными процессами. Состояние системы характеризуется подбором значений ряда переменных (факторов, показателей), а поведение системы – последовательностью состояний во времени. Система обладает свойством относительной устойчивости в том смысле, что она сохраняется лишь в определенных границах изменения ее переменных. В качестве переменных могут служить: диапазон режимов резания, колебание геометрических и конструктивных параметров режущего инструмента, изменение его свойств и др.

Системе присуща особенность внутренней целостности, что выражается в наличии у нее характеристик, не зависящих от свойств ее элементов. Иначе говоря, свойства системы неаддитивны по отношению к свойствам ее элементов. Внутренняя целостность системы в значительной степени характеризуется ее автономностью или относительной самостоятельностью поведения и существования. Вследствие своей относительной автономии любая система может рассматриваться как подсистема или элемент более широкой системы. Одновременно объекты, рассматриваемые в рамках данной системы как целые, при их изолировании могут быть описаны как системы нового уровня. Это позволяет последовательно приблизиться к выражению свойств элементов как функции организации систем микроуровня. Материальные системы характеризуются разной степенью активности взаимодействия их подсистем между собой, причем в любой системе имеет место сочетание взаимозависимости подсистем по одним свойствам и отношениям и независимости по другим.

Комплексный подход применительно к процессу резания упрочненным инструментом и оценка совместного влияния на его стойкость режимов упрочнения и эксплуатации реализуются, если представить его как технологическую систему, позволяющую учитывать сложную взаимосвязь отдельных факторов, оказывающих влияние на стойкость упрочненного режущего инструмента.

В данном технологическом процессе выделим две подсистемы первого (нижнего) иерархического уровня, каждая из которых обладает определенным набором элементов, свойств и связей (рисунки 5):

- подсистема технологической операции упрочнения (A_1);
- подсистема технологической операции резания (A_2).

Свойства элементов $a_{1.1}$, $a_{1.2}$ подсистемы A_1 , характеризующих режим упрочнения (рис. 5), определяют её выходные характеристики. Причем параметры качества упрочняемого материала: микротвердость и сопротивление разрушению – зависят от сочетания свойств элементов, составляющих

систему. Значения ряда факторов, определяющих выходные характеристики подсистемы A1, в свою очередь зависят от свойств элементов. В частности, энергия облучения выбирается исходя из свойств упрочняемого материала, геометрических параметров режущего инструмента.

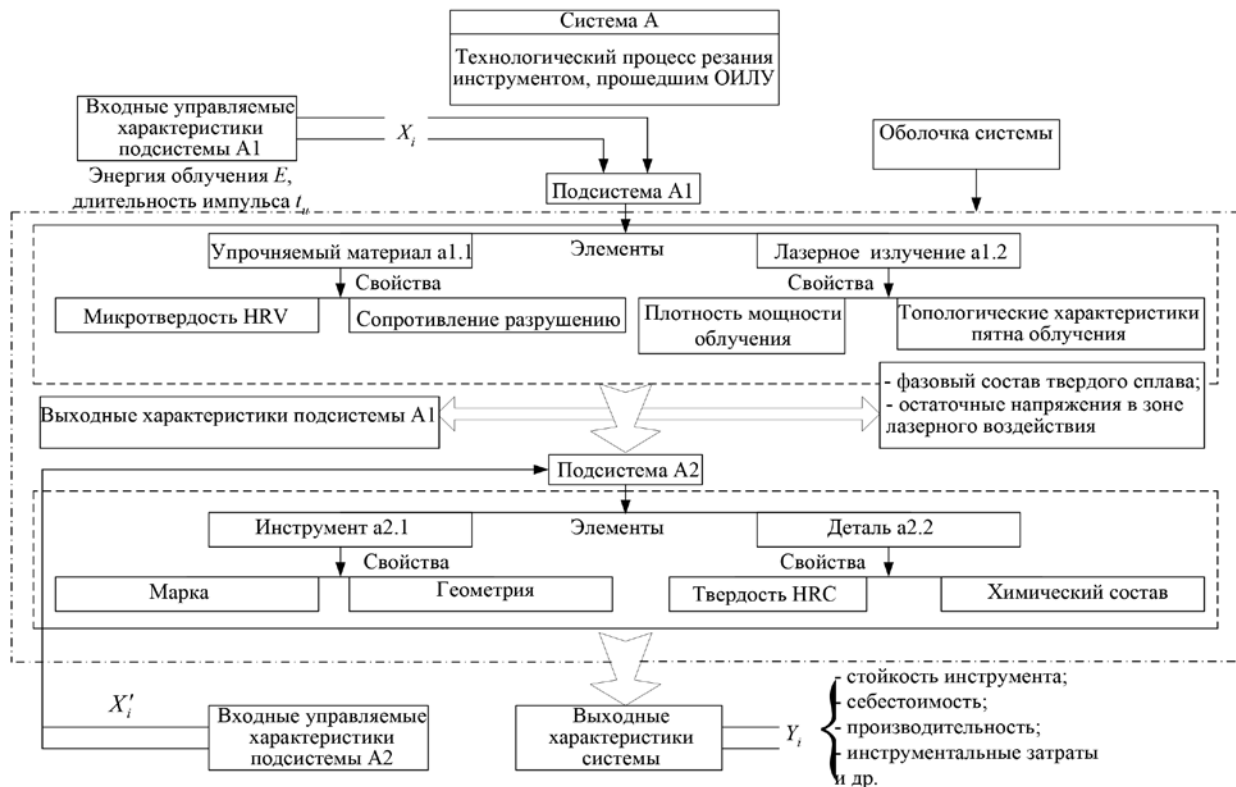


Рис. 5. Технологический процесс резания прошедшим ОИЛУ инструментом как система

Свойства элементов а2.1, а2.2 подсистемы А2, характеризующих режим эксплуатации (рис. 5), определяют выбор режима резания для обеспечения требуемых выходных характеристик системы (стойкости упрочненного режущего инструмента). На вход подсистемы А2 поступают также выходные характеристики подсистемы А1, их совместное действие определяет выходную характеристику технологической системы в целом. Наличие упрочненного материала на рабочей поверхности режущих инструментов существенно изменяет условия контактного взаимодействия при резании. Выходные характеристики подсистемы А1 наряду с факторами, характеризующими режимы обработки и поступающими на вход подсистемы А2, определяют выходную величину системы в целом. Совокупное действие этих величин придает системе А в целом новые качества, не свойственные каждой из подсистем в отдельности.

Предлагаемый комплексный подход к анализу эффективности упрочнения режущих инструментов реализован поэтапно применительно к процессу резания инструментом, упрочненного импульсной лазерной обработкой.

Как правило, главным выходным продуктом при использовании инновационных технологий является повышение производительности процесса по схеме – производительность возрастает, затраты уменьшаются. Анализ рассмотренной системы (рис. 5) позволяет утверждать, что технология ОИЛУ удовлетворяет этому требованию. Кроме того, при изменении подсистемы А2 и корректировке подсистемы А1 появляется возможность перейти к использованию ОИЛУ к другим видам изделий. Предпосылкой для этого служат получаемые выходные характеристики системы (рис. 5) – повыше-

ние производительности и стойкости, снижение себестоимости и инструментальных затрат за счет улучшения физико-механических свойств упрочняемого материала (в первую очередь абразивной износостойкости и сопротивления разрушения при изгибе), а также сохранение работоспособности при изменении геометрических параметров. Используя такой подход, можно прийти к выводу, что технология ОИЛУ может найти применение в ряде других отраслей. Например, для рабочих органов землеройных и сельскохозяйственных машин, бурового инструмента, дорожных резцов и т. п.

На основании вышесказанного можно сделать следующие выводы:

1. В результате проведенных исследований предложен новый системный методологический подход к анализу эффективности объемного импульсного лазерного упрочнения, основанный на комплексном исследовании влияния на стойкость режущих инструментов физико-технологических параметров, учитывающих подсистемы резания и упрочнения.
2. На основании анализа системы сделан вывод об экономической целесообразности расширения области применения метода ОИЛУ.

Литература

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. 1235–1241.
2. Пинахин И. А., Копченков В. Г. Повышение эффективности механообработки за счет применения импульсной лазерной обработки для упрочнения твердосплавных режущих инструментов // Вестник СевКавГТУ. Ставрополь, 2010. № 4. С. 109–113.
3. Пинахин И. А., Копченков В. Г., Тоекин С. А. Особенности износа твердосплавного режущего инструмента, прошедшего объемное импульсное лазерное упрочнение // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2012. № 8. С. 24–26.
4. Куприянов Е. М. Стандартизация и качество промышленной продукции. М.: Высшая школа, 1991. 226 с.
5. Клушин М. И. Резание металлов. Горький: ГПИ, 1970. 101с.