

СЕКЦИЯ 8

Машиностроение, станки и инструменты

Андреанов С.Б.

Силы резания при внутреннем шлифовании
сборным инструментом с радиально-подвижными сегментами

Баринов С.В., Силантьев С.А., Медведев М.Н.

Создание гетерогенной структуры в материалах

Васильев А.В., Баринов С.В., Соловьёв Д.Л.

Анализ упрочняющей обработки
поверхностным пластическим деформированием
длинномерных отверстий

Медведев М.Н., Силантьев С.А.

Способ упрочнения отверстий
поверхностным пластическим деформированием

Сидоренко В.В., Силантьев С.А.

Упрочнение деталей транспортных машин

Силантьев С.А., Баринов С.В.

Лазерная триангуляционная измерительная система
энергетических параметров ударных механизмов

Силы резания при внутреннем шлифовании сборным инструментом с радиально-подвижными сегментами

Несмотря на малую величину припуска, оставляемого для внутреннего шлифования, данный процесс характеризуется большими силами резания, высоким теплообразованием в зоне обработки и обязательным применением СОЖ. Величина припуска зависит в основном от диаметра, длины и толщины стенки обрабатываемого отверстия. Например, величина припуска для отверстий длиной до 200 мм по данным [1] для диаметров до 50 мм назначается в диапазоне 0,1 – 0,3 мм; для диаметров от 50 до 100 мм назначается в диапазоне 0,2 – 0,4 мм; для диаметров от 100 до 250 мм назначается в диапазоне 0,3 – 0,5 мм. Припуск в тонкостенных деталях увеличивают в 1,2 – 1,4 раза.

Общеизвестно, что большая часть работы микрорезания, трения и деформации материала при шлифовании переходит в тепло. Схема процесса внутреннего шлифования инструментом с радиально-подвижными сегментами подобна схеме хонингования. В соответствии со схемой составляющая силы резания разделяется на радиальную P_Y , тангенсальную P_Z и осевую P_X , величины которых необходимо знать для выбора оборудования, прочностных расчетов инструмента, расчета режимов резания и температуры резания. Для расчета сил резания можно воспользоваться формулами [2]:

$$\begin{aligned} P_X &= f_X \times S \times p_{уд} \times n_{бр} ; \\ P_Y &= S \times p_{уд} \times n_{бр} ; \\ P_Z &= f_Z \times S \times p_{уд} \times n_{бр} , \end{aligned}$$

где

f_Z, f_X – коэффициенты взаимодействия брусков-заготовка при перемещении бруска соответственно в тангенсальном и осевом направлениях;

S – площадь контакта одного бруска с обрабатываемой поверхностью, см²;

$p_{уд}$ – удельное давление шлифовального бруска на обрабатываемую поверхность, кг/см²;

$n_{бр}$ – количество шлифовальных брусков в инструменте, шт.

Удельное давление шлифовального бруска на обрабатываемую поверхность практически мгновенно возрастает в начальный период обработки 1÷10 оборотов инструмента, выравнивается и в дальнейшем сохраняет постоянную величину (при неизменных условиях обработки). При изменении значения частоты вращения инструмента удельное давление изменяется в соответствующую сторону. При окончании процесса шлифования удельное давление снижается пропорционально частоте вращения инструмента. Удельное давление определяется как сила инерции, действующая на сегмент (шлифовальный брусок и металлическая обойма) по формуле:

$$p_{уд} = \frac{m_{сегм}}{\rho}$$

где

$m_{сегм}$ – масса сегмента, масса металлической обоймы и шлифовального бруска, кг.;

ρ – расстояние от оси вращения инструмента до точки центра масс шлифовального сегмента, см.

Давление каждого шлифовального сегмента на обрабатываемую поверхность зависит не только от массы сегмента, которая уменьшается в процессе обработки, но и от множества переменных факторов. Аэро- и гидродинамические процессы, возникающие в емкости при работе инструмента, состояние рабочей поверхности инструмента, тепловые явления в зоне резания и другие процессы, несомненно, оказывают влияние на удельное давление, как постоянно, так и переменным образом в каждый момент времени.

Литература

1. Ипполитов, Г.М. Абразивно-алмазная обработка / Г.М. Ипполитов.– М.: Машиностроение, 1969.– С. 334
2. Абразивная и алмазная обработка материалов. Справочник. Под ред. д-ра техн. наук проф. А.Н. Резникова.– М.: Машиностроение, 1977.– 384 с.

С.В. Баринов
С.А. Силантьев
М.Н. Медведев

*Муромский институт Владимирского государственного университета
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
e-mail: center@mivlgu.ru*

Создание гетерогенной структуры в материалах

Срок работы механизма, как правило, определяется долговечностью наиболее ответственных деталей, причиной выхода из строя которых обычно является целый комплекс внешних воздействий, которые, главным образом, воспринимаются поверхностным слоем деталей. Известно, что с повышением прочности поверхностного слоя одновременно увеличивается его твердость и снижается пластичность. Однако очень часто условия эксплуатации детали требует наличия поверхностного слоя, имеющего одновременно большую твердость и пластичность. Такая возможность может быть получена при создании гетерогенной структуры поверхностного слоя.

Термин «гетерогенный» (от греч. heterogenes – разнородный) означает разнородный по своему составу или происхождению.

Идеи использования сочетания материалов для получения более высоких характеристик, чем у взятых в отдельности, возникли у человечества еще с древних времен. Так, в древнем Египте строили глинобитные жилища, упрочненные соломой, а израильтяне использовали солому для упрочнения кирпича. Известно, что в Японии в период Нара в VIII в. изготавливали статуэтки Будды из сухого лака путем пропитывания лаком полотна. Помимо этого изготавливали также скульптурные изображения из глины, в которую подмешивали слюду [1].

Одним из наиболее известных представителей таких гетерогенных материалов является булат, полученный впервые древнеиндийскими кузнецами. Будучи твердым и прочным, булат обладал одновременно большой упругостью и вязкостью, а клинки, изготовленные из него, способны перерубать гвозди, гнутся в дугу и могут на лету разрезать газовый платок [2, 3].

Несмотря на достаточно богатую историю использования гетерогенных материалов, развитие технологий их создания, а также использование для повышения долговечности деталей машин является относительно новым направлением в машиностроении.

Перспективным является создание гетерогенной структуры упрочнением локальных участков поверхностного слоя. Преимуществом такого метода является то, что осуществляется упрочнение однородного материала, то есть отсутствует необходимость применения дорогостоящих легирующих элементов или материалов с разнородными свойствами. Однако в настоящее время такое направление еще недостаточно изучено, и как следствие, не нашло широкого применения в технологии машиностроения. Тем не менее, известно несколько примеров успешного применения упрочняющей обработки для создания гетерогенной структуры, повышающей долговечность деталей.

Создание гетерогенной структуры термическим воздействием, в силу специфики распространения тепловых полей в поверхностном слое детали, обычно ограничивается небольшой глубиной. Тем не менее, структура с различным сочетанием твердых и пластичных участков, полученная варьированием размеров областей нагрева при закалке ТВЧ на глубине около 0,5 мм, позволила увеличить предел прочности на 30 МПа [5]. Создание различной твердости на поверхностных выступах и впадинах резьбы лазерной закалкой обеспечило повышение усталостной долговечности на 30 – 50 % [4].

Достаточно эффективно для создания гетерогенной структуры применяется химико-термическая обработка (ХТО). Одной из наиболее распространенных технологий получения чередующихся твердых и пластичных участков является нанесение на поверхностный слой защитных масок, необходимых для разделения обрабатываемой поверхности на участки, часть из которых в дальнейшем будет упрочнена. Использование ХТО позволяет создавать гетерогенно упрочненный слой на глубину до 3 мм. Такая технология широко используется для упрочнения рабочих поверхностей зубчатых колес, что позволяет увеличивать их контактную выносливость в два-три раза [6], а также инструментов из низкоуглеродистой стали (ножовочных полотен, пил и т. д.).

Создание гетерогенной структуры поверхностным пластическим деформированием (ППД) возможно лишь статико-импульсной обработкой (СИО), способной за счет воздействия на упрочняемый поверхностный слой управляемыми ударными импульсами формировать требуемую эпюру твердости на большой глубине с любой равномерностью упрочнения. Получаемая при СИО ППД гетерогенная структура имеет плавный переход от упрочненной поверхности к неупрочненной, тем самым исключая зарождения между ними микротрещин, приводящих к разрушению под действием контактных циклических нагрузок. При контактно-усталостных испытаниях гетерогенной структуры, полученной СИО ППД, было отмечено повышение ее сопротивления контактному выкрашиванию в 3 – 6 раз [7].

Литература

1. Фудзии, Т. Механика разрушения композиционных материалов: пер. с японск. / Т. Фудзии, М. Дзако.– М.: Мир, 1982.– 232 с.
2. Гуревич, Ю.Г. Загадка булатного узора / Ю.Г. Гуревич.– М: Знание, 1985.– 192 с.
3. Аносов, П. П. Собрание сочинений / П.П. Аносов.– М.: Изд-во АН СССР, 1954.
4. Патент №2047661 РФ. Способ обработки резьбового изделия / В.С. Аванесов, Б.А. Авербух, Д.Г. Ашигян. Бюлл. № 6, 1995.
5. Патент № 2219271 РФ. Способ упрочнения сплава на основе железа / Г.А. Дорофеев. Бюлл. № 7, 2003.
6. Иванов, Г.П. Повышение износостойкости деталей созданием регулярной гетерогенной макроструктуры / Г.П. Иванов, Л.В. Картонова, А.А. Худошин // Строительные и дорожные машины.– 1997.– № 1.– С. 33 – 34.
7. Киричек, А.В. Повышение контактной выносливости деталей машин гетерогенным деформационным упрочнением статико-импульсной обработкой / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, С.В. Баринов, С.А. Силантьев // Упрочняющие технологии и покрытия.– №7.– 2008.– С. 9 – 15.

А.В. Васильев
С.В. Баринов
Д.Л. Соловьёв

*Муромский институт Владимирского государственного университета
602264 г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, д. 23
e-mail:oid@mivlgu.ru*

Анализ упрочняющей обработки поверхностным пластическим деформированием длинномерных отверстий

Упрочнение поверхностным пластическим деформированием (ППД) позволяет повысить долговечность деталей машин за счет создания наклепанного поверхностного слоя, обладающего высокой твердостью (до 4000 ... 6000 МПа), большой толщиной (до 3 ... 5 мм и более) и сжимающими остаточными напряжениями (до 600 ... 1000 МПа). Известно, что в зависимости от характера нагрузки, деформирующей упрочняемую поверхность, способы ППД подразделяются на статические и ударные. Более широкое распространение получили статические способы, такие как накатывание, выглаживание, дорнование и др., имеющие менее сложную кинематику и не требующие применения сложного оборудования. Однако недостатком таких способов является высокая энергоемкость и, соответственно, увеличение габаритных размеров технологического оборудования и оснастки при создании упрочненного поверхностного слоя с большой толщиной, необходимой для тяжело-нагруженных деталей. Для снижения энергоемкости процесса ППД возможна частичная или полная замена статической нагрузки на ударную. Однако при этом усложняется кинематика обработки и используемое оборудование, в котором одним из главных элементов становится ударная машина. Кроме того, необходимо учитывать, что выпускаемые промышленностью ударные машины, как правило, не предназначены для процессов упрочнения ППД и требуют соответствующей конструктивной адаптации. Всё это сдерживает широкое применение ударной нагрузки в способах деформационного упрочнения.

Например, достаточно редко ударное упрочнение ППД применяется для внутренних цилиндрических поверхностей, доля которых в машиностроении достаточно велика. Так для ППД отверстий большого диаметра (более 100 ... 120 мм) может использоваться центробежная обработка или ударное раскатывание, сочетающее комбинированное нагружение статической и ударной нагрузкой. Для упрочнения отверстий с меньшими диаметрами (менее 100 ... 120 мм) такие способы применить сложно, так как вследствие малого пространства возникают трудности ориентации инструмента относительно обрабатываемой поверхности. Поэтому единственной возможностью упрочнения ППД таких отверстий является дорнование, при котором инструмент – дорн проходит под действием статической нагрузки вдоль упрочняемого отверстия, формируя наклепанный слой. Диаметр дорна выполняют больше диаметра упрочняемого отверстия на величину натяга. Для получения большой степени и глубины упрочнения необходимо увеличение натяга, а соответственно – и силы, прикладываемой к дорну. При дорновании прикладываемая сила может быть толкающей, инструмент – дорн сжатия (выглаживающая прошивка), или тянущей, инструмент – дорн растяжения (выглаживающая протяжка).

Использование ударной нагрузки при ППД отверстий с диаметром менее 100 мм было реализовано в статико-импульсном дорновании (СИД) по схеме прошивания, когда инструмент – дорн проходит вдоль упрочняемого отверстия под действием комбинированной толкающей статической и ударной нагрузки. При этом ударная нагрузка преимущественно определяла параметры наклепанного слоя. Оценка производительности процесса СИД показала, что скорость обработки отверстий снижается с повышением натяга, а также при уменьшении диаметра инструмента. При сравнении производительности при СИД и при дорновании для тех же условий [1] установлено, что при СИД производительность составила не менее 4,6 мм/с, что более чем в два раза выше, чем при дорновании.

Сравнение энергоемкости оборудования, применяемого при дорновании (протяжные станки и прессы различных типов) и при СИД (генератор импульсов) показывает, что создание больших сил порядка 285 ... 340 кН при дорновании требует использования оборудования, потребляемая мощность которого достигает 40 кВт [4]. Применение при СИД генератора импульсов позволяет создавать при энергии удара 160 Дж динамическую силу порядка 450 кН. При этом потребляемая

мощность всей установки, включая гидроцилиндр, осуществляющий предварительное статическое нагружение, составляет не более 18 кВт, что более чем в 2 раза меньше, чем потребляемая мощность при дорновании.

Однако при СИД по способу прошивания длина обрабатываемых отверстий ограничивается 100...150 мм. Это связано с тем, что при обработке более длинных отверстий возможно искажение положения оси отверстия относительно наружной и торцевой поверхностей обрабатываемой детали. Поэтому для отверстий с большой длиной целесообразно использование дорнования по способу протягивания. Для упрочнения ППД протягиванием комбинированная статико-импульсная нагрузка не применялась.

Литература

1. Монченко, В.П. Деформирующая обработка отверстий втулок и гильз гидропневмоцилиндров / В.П. Монченко, В.В. Белотелов.– М.: НИИМАШ, 1976.– 91 с.
2. Шнейдер, Ю.Г. Технология финишной обработки давлением: справочник / Ю.Г. Шнейдер.– СПб.: Политехника, 1998.– 414 с.
3. Одинцов, Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием: справочник / Л.Г. Одинцов.– М.: Машиностроение, 1987.– 328 с.
4. Киричек, А.В. Технология и оборудование статико-импульсной обработки поверхностным пластическим деформированием / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьёв, А.Г. Лазуткин.– М.: Машиностроение, 2004.– 288 с.
5. Киричек, А.В. Микрогеометрия поверхности после деформационного упрочнения статико-импульсной обработкой / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьёв // Производство и ремонт машин: сб. матер. Междунар. научно-техн. конф.– Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2005.– С. 105 – 110.
6. Киричек, А.В. Деформационное упрочнение отверстий статико-импульсной обработкой / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьёв // Упрочняющие технологии и покрытия.– 2007.– № 5.– С. 3 – 5.
7. Киричек, А.В. Упрочнение отверстий статико-импульсным дорнованием / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьёв, А.В. Поляков // Упрочняющие технологии и покрытия.– 2009.– № 6.– С.14 – 16.

Способ упрочнения отверстий поверхностным пластическим деформированием

Одной из проблем эксплуатации гусеничного движителя является быстрый износ отверстий траков, которыми они соединяются между собой с помощью пальцев. Эту проблему частично решают изготовлением траков из марганцовистой стали, которая хорошо сопротивляется износу при трении, особенно в условиях абразивного воздействия грунта. Однако, как показывает практика, отверстия траков все еще являются одними из наиболее быстро изнашиваемых элементов гусеничного движителя.

Упрочнение поверхностным пластическим деформированием (ППД) внутренних цилиндрических поверхностей диаметром менее 100...120 мм возможно только дорнованием, при котором инструмент – дорн проходит вдоль упрочняемого отверстия, формируя наклепанный слой с высокой твердостью. Диаметр дорна выполняют больше диаметра упрочняемого отверстия на величину натяга. С увеличением натяга, соответственно, должна увеличиваться сила, прикладываемая к дорну. В зависимости от натяга и величины прикладываемой силы появляется возможность создания различных давлений в области контакта инструмента и поверхности.

Для создания больших давлений эффективно используется статико-импульсная обработка (СИО), когда нагружение очага деформации осуществляется за счет постоянного статического и периодического ударного нагружения.

Упрочнение СИО коротких (до 150 мм) отверстий осуществлялось по способу прошивания, когда инструмент проходит сквозь отверстие под действием толкающей нагрузки. Однако такая схема упрочнения для отверстий траков не может быть использована, поскольку суммарная длина отверстий траков на одной оси превышает 150 мм. Причем технологический процесс упрочнения траков должен учитывать необходимость обеспечения соосности отверстий последовательно расположенных на одной оси. Для этого в качестве инструмента должен применяться многокольцевой дорн с длиной рабочей части обеспечивающей одновременное упрочнение не менее двух последовательно расположенных отверстий, а прикладываемая к дорну нагрузка должна быть тянущей.

Схема для упрочнения СИО отверстий траков гусеничных машин будет выглядеть следующим образом. Трак устанавливается на столе установки для упрочнения, базируясь по торцевой поверхности. Дорн, состоящий из колец, размещенных на оправке, частично внедряется под действием статической силы в упрочняемое отверстие трака. На конце оправки крепится волновод. Боек генератора импульсов имеет возможность свободного перемещения вдоль оправки. Ударные импульсы генерируются при ударе бойка по волноводу и передаются через оправку кольцам дорна, обеспечивая их поступательное перемещение внутри упрочняемого отверстия и соответствующее пластическое деформирование его стенок. Форма ударных импульсов будет регулироваться изменением геометрических параметров бойка и волновода. Технологическими параметрами процесса СИО траков гусеничных машин являются: натяг, количество колец дорна, энергия, частота и форма ударных импульсов.

Использование предложенной схемы позволит осуществить деформационное упрочнение отверстий траков, создавая наклепанный поверхностный слой с большой толщиной (до 8 мм) и твердостью, достигающей 6500 МПа, что будет способствовать повышению их долговечности.

Литература

1. Соловьев, Д.Л. . Возможности повышения долговечности траков гусеничных машин деформационным упрочнением / А.В. Киричек, М.Н. Медведев // Известия ОрелГТУ.– Серия «Машиностроение. Приборостроение».– Орел: 2011.– №2.(286).– С. 89 – 92.

Упрочнение деталей транспортных машин

Работа транспортных машин обычно сопряжена с циклическим нагружением их узлов и механизмов. Это часто приводит к усталостным разрушениям наиболее нагруженных деталей. Одним из направлений повышения усталостной прочности является создание упрочненного поверхностного слоя, обладающего большой твердостью и сжимающими остаточными напряжениями. Для этого, как правило, используются способы поверхностного пластического деформирования (ППД), которые позволяют формировать наклепанный поверхностный слой с твердостью до 6500 МПа, сжимающими напряжениями до –800 МПа и глубиной до 1,5 ... 3 мм. Однако широкое применение упрочнения ППД часто сдерживается высокими энергозатратами, особенно если необходимо получение упрочненного слоя большой глубины, например для деталей испытывающих при работе высокие нагрузки.

Статико-импульсная обработка (СИО) – новый способ упрочнения ППД, когда нагружение упрочняемой поверхности детали осуществляется ударными импульсами. Деформирующее ударное воздействие при СИО характеризуется не только энергией, но и формой импульса (изменением амплитуды, то есть силы удара по времени). В основу создания способа положен тот факт, что ударные импульсы, имеющие одинаковую кинетическую энергию, могут характеризоваться различной формой, которая будет определять энергию удара, расходуемую на пластическую деформацию.

При ППД традиционно используются импульсы с большой амплитудой и малой длительностью, генерируемые в примитивных ударных системах. Так, энергия импульса, сообщенного в очаг деформации при ударе бойком через промежуточное звено (волновод) и инструмент, при одной и той же кинетической энергии удара, в 2 раза превышает энергию импульса, полученного при ударе шаром, и в 1,5 раза – энергию импульса, полученного при ударе цилиндрическим бойком. Это объясняется тем, что при ударе бойком через промежуточное звено – волновод, появляется возможность использовать энергию отраженных волн деформации, формирующихся в виде хвостовой части импульса, для повторного нагружения. Рациональное использование хвостовой части импульса позволяет увеличить КПД процесса и интенсифицировать пластическую деформацию. Для использования отраженных волн деформации необходимо чтобы система “боек – волновод – инструмент – нагружаемая поверхность” после удара находилась в жестком контакте друг с другом, что обеспечивается предварительным статическим поджатием волновода с инструментом на конце, не позволяющим ему отскакивать от нагружаемой поверхности после удара. В результате технология СИО заключается в предварительном статическом и периодическом ударном (импульсном) воздействии инструментом на обрабатываемую поверхность.

Таким образом, статико-импульсная обработка (СИО) является наиболее перспективным и энергоэффективным методом поверхностного пластического деформирования. СИО позволяет наиболее полно передавать энергию удара в нагружаемую среду, повышая КПД процесса до 30 %, формирует в поверхностном слое детали глубиной до 30 мм, сжимающие остаточные напряжения до 1200МПа, повышая микротвердость поверхности до 6500МПа. Применение СИО позволяет достаточно точно управлять процессом упрочнения, рационально распределять энергию удара, создавая глубину упрочненного слоя в 3 ... 4 раза больше чем другими способами ППД.

Лазерная триангуляционная измерительная система энергетических параметров ударных механизмов

Для изучения влияния конструктивных и энергетических параметров ударных механизмов на процесс статико-импульсной обработки (СИО) и формирование свойств упрочненной поверхности необходимо создание измерительного комплекса позволяющего определять энергию и частоту ударов бойка.

Известно несколько методов измерения энергии ударов:

1. Применение индукционных датчиков скорости, для монтажа которых необходимо либо вмешиваться в конструкцию ударного устройства, либо еще на этапе проектирования встраивать датчик в конструкцию.

2. Использование тензометрических датчиков помещенных на боек или инструмент – способ требует тарировки и может использоваться только для конкретной модели ударника.

Оба способа требуют тарировки и калибровки и не подходят для контроля серийного производства ударных механизмов. Необходима разработка универсального измерительного комплекса, позволяющего проводить испытания ударных механизмов разных моделей и габаритов.

Наиболее точно определить энергетические параметры ударного механизма можно, записав диаграмму движения бойка во времени. Для этого необходимо в пределах одного рабочего цикла проводить серию измерения мгновенных положений бойка (скорость которого составляет до 10 м/с, частота ударов до 50 Гц.)

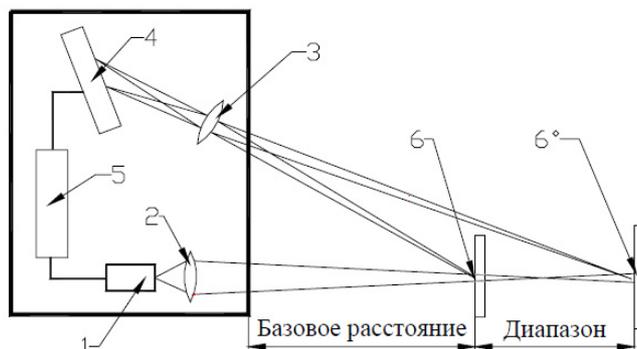


Рис 1. Триангуляционный лазерный датчик.

Перспективным методом получения диаграммы движения бойка может быть триангуляционный метод измерения с использованием лазерного датчика с высокой частотой опроса. Основная задача, решаемая триангуляционным датчиком – это бесконтактное определение расстояния до объекта измерения. Ранее метод лазерного измерения положения использовался в геодезии и картографии. Применение лазерных датчиков для измерения движущихся объектов сдерживался низким быстродействием. В настоящее время появились датчики для контроля линейных размеров, например при прокатке стали.

Принцип работы лазерного датчика основан на триангуляционном методе измерения расстояния до объекта. Излучение полупроводникового лазера 1 фокусируется объективом 2 на объекте 6. Рассеянное на объекте излучение объективом 3 собирается на CCD-линейке 4. Перемещение объекта 6 – 6' вызывает соответствующее перемещение изображения. Процессор сигналов 5 рассчитывает расстояние до объекта по положению изображения светового пятна на линейке 4 и передает измеренное значение на выход датчика. Сигнал с датчика может быть передан на компьютер как непосредственно через порт RS232, RS485 так и через цифровой осциллограф.

Измерительный комплекс на базе триангуляционного лазерного датчика позволит осуществить контроль выходных энергетических параметров ударных механизмов, при этом не требуя настройки и адаптации к конкретной конструкции и изготовления дополнительной оснастки.