

**ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНЫХ ЯВЛЕНИЙ
В УСЛОВИЯХ ПРЕРЫВИСТОГО РЕЗАНИЯ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ФОТОРЕГИСТРАЦИОННОГО МЕТОДА**

М.М. Симонян, В.А. Балаян, Н.Э. Казарян

Ванадзорский филиал Национального политехнического университета Армении

Рассмотрены основные экспериментальные методы выявления ударных явлений в условиях прерывистого резания, проанализированы их характеристики, достоинства и недостатки. Подробно изучен фоторегистрационный метод регистрации продолжительности удара с целью выявления влияния ударных явлений на работоспособность режущего клина при прерывистом резании. Исследованы экспериментальные методы фиксации начального контакта инструмента с заготовкой на фотопленке. Особое внимание уделено выбору методики постановки экспериментов с учетом технических характеристик применяемой аппаратуры. Согласно результатам экспериментов, проведенных по разработанной методике с фотографированием процесса врезания, имеет место падение скорости резания, что подтверждает наличие механического удара в переходном процессе врезания режущего клина в обрабатываемый материал.

Ключевые слова: прерывистое резание, удар, скоростная фотосъемка, методика.

Введение. Износ рабочих поверхностей инструмента при обработке материалов резанием представляет сложный комплекс одновременно действующих нескольких механизмов разрушения, степень влияния которых зависит от ряда факторов, в том числе от условий контактного взаимодействия между обрабатываемым материалом и инструментом.

Интенсивный износ и разрушение контактных поверхностей инструмента особенно наблюдаются при прерывистых процессах резания (фрезерование, протягивание, прерывистое точение, строгание, долбление и др.), составляющих до 50% объема лезвийной обработки. Особенностью прерывистого резания является наличие чередования рабочих и холостых ходов, т.е. переходных процессов, протекающих при врезании и выходе инструмента из контакта с заготовкой, которые, вызывая циклические воздействия силового, теплового и адгезионного характера на хрупкий материал инструмента, приводят к его интенсивному износу и разрушению, а наличие удара при врезании может вызвать преждевременное разрушение режущего твердосплавного клина.

В существующих исследованиях в области прерывистой обработки материалов резанием имеются различные мнения о наличии механического удара в переходном процессе врезания инструмента и его влиянии на работоспособность клина, что, на наш взгляд, является следствием применения аппаратуры разной степени инерционности, а также применяемой методики и постановки экспериментов.

Анализ существующих методов исследования и постановка задачи. Аналитические методы расчета импульсных и ударных сил являются приближенными и сталкиваются с большими трудностями, связанными с решением трехмерной задачи динамической теории пластичности аналогично задаче Герца с учетом поведения упругости технологической системы (СПИД). Экспериментальное изучение явления удара также затруднительно. Основная трудность состоит в том, что время протекания процесса удара является чрезмерно коротким – $10^{-4} \dots 10^{-1}$ с [1], и для того, чтобы фиксировать столь кратковременные процессы, нужна совершенная аппаратура, поскольку к ней предъявляются жесткие требования с точки зрения частотных характеристик.

Изучение ударных явлений относится к числу наиболее актуальных проблем прикладной механики с целью оценки поведения различных конструкций в условиях интенсивных нагрузок импульсного характера. Удар – это совокупность явлений, возникающих при столкновении движущихся твердых тел [2], либо при взаимодействии тела массой m со средой или с деформируемым неподвижным объектом [3].

Из литературных источников известно, что основными экспериментальными методами для выявления ударных явлений являются:

1. Метод динамической фотоупругости.
2. Метод крешеров.
3. Исследование ударных процессов с применением электрических тензометров.
4. Исследование ударных процессов с помощью электрических акселерометров.
5. Исследование напряжений с помощью бесконтактного интерферометрического метода.
6. Фоторегистрационный метод регистрации продолжительности и силы удара.

1. Основным недостатком метода динамической фотоупругости является различие свойств у прозрачной модели и натурального образца, что особенно проявляется при динамических явлениях. Различие упругих констант и наличие демпфирующих свойств прозрачных материалов, проявляющихся при динамических нагрузках, в большой степени снижают ценность результатов, полученных оптическим методом, так как эти факторы изменяют не только наибольшую величину напряжений, но и сам характер удара [4].

2. Суть метода крешеров для измерения динамических сил заключается в измерении остаточных деформаций, однако данный метод невозможно применять при ударе с прониканием.

3. Измерения динамических и статических сил с помощью тензорезисторов осуществляются двумя способами. Первый способ основан на измерении деформации узлов, передающих или воспринимающих исследуемую силу. В случаях, когда это возможно, при проведении исследований прибегают к уменьшению сечения детали, которая используется для силоизмерения, изменяя ее размеры механической обработкой, так как при больших сечениях чувствительность тензометрируемой детали может оказаться неудовлетворительной.

Второй способ определения сил состоит во введении специального тензорезисторного преобразователя силы (динамометрирование). При этом получают более точные результаты с помощью предварительной градуировки.

Различные методы измерения сил, развивающиеся при ударе, весьма подробно рассмотрены в работе Н.Н. Давыденкова. Согласно [4], основные способы определения сил можно разделить на две группы: кинематические (скоростное фотографирование смещений) и статические. К статическим принадлежит динамометрический способ, основанный на измерении упругих деформаций динамометров при ударе. При динамическом режиме в упругих динамометрах возникают собственные колебания, поэтому во избежание искажений результатов наблюдений необходимо, чтобы их период был значительно меньше продолжительности удара.

4. Для измерения параметров ударных процессов в литературе наиболее приемлемым считается высокочастотный пьезодатчик ускорения, с помощью которого можно определить силу удара, скорость и ускорения соударяемых тел как в начале, так и в конце удара, а также перемещение ударяемого тела в процессе удара [5].

При регистрации измерений импульсных процессов желательно иметь датчики с высокой частотой собственных колебаний. Но поскольку при повышении этой частоты снижается чувствительность прибора, то при выборе его характеристик необходимо принять компромиссное решение [5]. Основными характеристиками пьезодатчиков для измерения ускорений являются рабочий диапазон частот, максимальное измеряемое ускорение и относительная поперечная чувствительность,

5. Сущность исследования напряжений с помощью бесконтактного интерферометрического метода состоит в том, что на установке, работающей по схеме лазерного интерферометра Майкельсона, фотосъемкой регистрируются изменяющиеся интерференционные картины, получаемые в результате интерференции лучей монохроматического света, отраженного от зеркал [6]. Этот метод ввиду сложности пока еще не нашел широкого применения.

6. При решении современных научных и практических задач высокоскоростная фотографическая регистрация является одним из наиболее эффективных методов исследования быстропротекающих процессов. Сочетание фотосъемочного аппарата с микроскопом, телеоптикой, рентгеновским аппаратом и динамометром, съемки в инфракрасных или ультрафиолетовых лучах, в поляризованном свете и пр. чрезвычайно расширили рамки научных исследований [4].

Методика исследования. Так как удар двух свободно движущихся тел, а также удар груза о балку, о жестко закрепленную плитку сопровождается мгновенным падением скорости ударяющего тела, период которого при упругом ударе совпадает с периодом изменения силы взаимодействия (силы удара), то и при врезании инструмента в заготовку должно наблюдаться падение скорости режущего клина. Однако причина падения скорости объясняется по-разному: наличием зазоров в стыковых соединениях технологической системы (СПИД) [7], интенсивным сопротивлением, возникающим при врезании [1], т.е. вследствие ударного взаимодействия инструмента с заготовкой.

Для выявления причины падения скорости резания проведен ряд экспериментов, при которых учитывалось, что основная доля перемещений касается перемещений деталей в стыках технологической системы (СПИД), и лишь небольшая часть, исчисляемая микрометрами, происходит вследствие упругости самих деталей [8]. В экспериментах с целью устранения зазоров в стыковых соединениях и для того, чтобы детали строгального станка до врезания инструмента находились в нагруженном рабочем состоянии, применялась специально разработанная методика [9].

Изучение переходного процесса врезания режущего клина в материал проводилось осциллографированием в сочетании с быстрой фотосъемкой с помощью скоростной фотокамеры СКС-1М.

Для фиксации на фотопленке начального контакта инструмента с заготовкой пользовались двумя методами. В первом случае запоминающий осциллограф С8-2, часть экрана которого находится в поле зрения объектива фотокамеры, имеет состояние “Готов к пуску”, и в момент врезания инструмента на экране осциллографа появляется изображение (зависимость силы резания от времени), что и является моментом начала отсчета. Во втором случае торец обрабатываемой заготовки хорошо отшлифовывается, и на боковой грани наклеивается метка - прямоугольный лист белой бумаги (рис. 1).

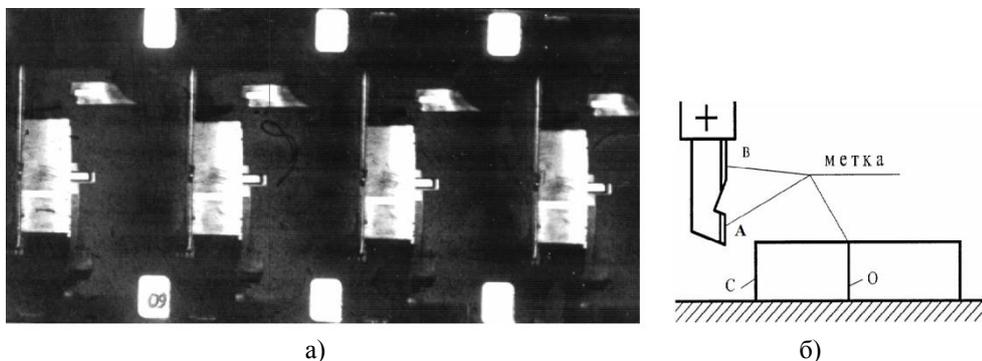


Рис. 1. Фотография (а) и схема фрагмента фотограммы (б) для фиксирования момента контакта инструмента с заготовкой и определения величины падения скорости резания в процессе врезания

Грани *A* и *B* инструмента шлифуются путем одной установки и находятся в одной плоскости. На боковой поверхности резца наклеивается вторая метка. Заготовка устанавливается и закрепляется так, чтобы при ее контакте с резцом плоскости *A*, *B* и *C* совпадали. После обработки фотоматериала метки четко отличаются на остальном фоне. При анализе фотограмм с помощью инструментального микроскопа ММИ-2 (увеличение $\times 50$) начало отсчета берется с момента совпадения меток *A* и *B* с торцевой плоскостью заготовки.

Фиксируя скорость инструмента после врезания и зная величину постоянной скорости инструмента до врезания, можно установить изменение скорости в переходном процессе врезания и определить величину и время этого изменения. Скорость фотосъемки во время экспериментов была постоянной (на фотоплёнке имеются отметки времени с частотой 50 Гц).

Используя принципы физического моделирования методом обращенного удара [10], проведены эксперименты и на копре (рис. 2) с целью ужесточения условий врезания, т.е. увеличения скорости и энергии ударника (резца) с одновременным исключением стыковых зазоров системы.

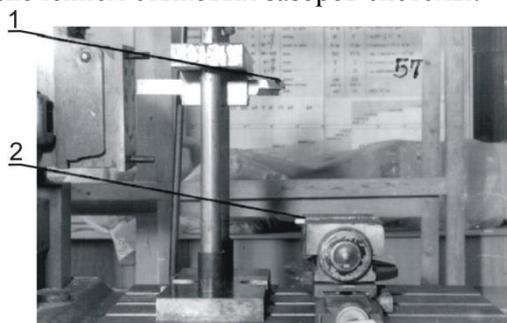


Рис. 2. Копер для исследования процесса врезания: 1 - резец, 2 - заготовка

Копер имеет основание с двумя колоннами, по которым скользит державка с инструментом (динамометром). Обрабатываемый образец закрепляется в приспособлении и может получать вспомогательное движение в горизонтальной плоскости. При сбрасывании державки с определенной высоты инструмент врезается в обрабатываемый материал и осуществляет процесс резания в виде строгания, расходуя приобретенную кинематическую энергию.

Выводы. Результаты экспериментов показали, что при врезании режущего клина в материал, когда все зазоры и перемещения в стыковых соединениях технологической системы (СПИД) устранены, происходит падение скорости резания.

Эксперименты, проведенные на копере с фотографированием процесса врезания, показали, что и в этом случае имеет место падение скорости резания, что подтверждает наличие механического удара в переходном процессе врезания режущего клина в обрабатываемый материал при прерывистой обработке материалов резанием.

Литература

1. **Подураев В.Н.** Резание труднообрабатываемых материалов. – М.: Высшая школа, 1974. – 590 с.
2. **Пановко Я.Г.** Введение в теорию механического удара. – М.: Наука, 1977. – 224 с.
3. **Физический энциклопедический словарь.** – М.: Советская энциклопедия, 1984. – 944 с.
4. **Кильчевский Н.А.** Теория соударения твердых тел. – Киев: Наукова думка, 1969. – 246 с.
5. Инженерные методы исследования ударных процессов / **Г.С. Батуев, Ю.В. Голубков** и др. – М.: Машиностроение, 1977. – 240 с.
6. **Утешев М.Х., Некрасов Ю.И., Артамонов Е.В.** Исследование напряженного состояния режущей части инструмента с применением оптических квантовых генераторов // Труды 2-го Всесоюзного семинара “Геометрические методы исследования напряжений и деформаций”. – Челябинск, 1975. – С. 137 – 146.
7. **Андреев Г.С.** Исследование работоспособности режущей части инструмента при прерывистом резании: Автореф. дис. ... д.т.н. – М., 1971. – 36 с.
8. **Левина З.М., Решетов Д.Н.** Контактная жесткость машин. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
9. **Симонян М.М.** О влиянии некоторых факторов на стойкость твердосплавных инструментов при прерывистом резании // Вестник машиностроения. – М., 2004. – № 11. – С. 44 – 46.
10. **Фридман Я.Б.** Механические свойства металлов. – М.: Машиностроение, 1974. – Т. 1. – 471 с.; Т. 2. – 367 с.

*Поступила в редакцию 08.12.2014.
Принята к опубликованию 26.05.2015.*

**ՖՈՏՈԳՐԱՆՑՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ԿԻՐԱՌՈՒԹՅՈՒՆԸ
ԸՆԴՀԱՏ ԿՏՐՄԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐՈՒՄ ՀԱՐՎԱԾԱՅԻՆ ԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ
ՀԵՏԱԶՈՏՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ**

Մ.Մ. Սիմոնյան, Վ.Ա. Բալայան, Ն.Է. Ղազարյան

Դիտարկվել են ընդհատ կտրման պայմաններում հարվածային երևույթների բացահայտման հիմնական փորձարարական մեթոդները, վերլուծվել են դրանց բնութագրերը, առավելություններն ու թերությունները: Մանրակրկիտ ուսումնասիրվել է ֆոտոգրանցման մեթոդը՝ հարվածի տևողության գրանցման համար, նպատակ ունենալով բացահայտել հարվածային երևույթների ազդեցությունը կտրող սայրի աշխատունակության վրա ընդհատ կտրման դեպքում: Հետազոտվել են ֆոտոժապավենի վրա գործիքի և նախապատրաստվածքի սկզբնական կոնտակտի սևեռման փորձարարական մեթոդները: Առանձնակի ուշադրություն է հատկացվել փորձերի դրման մեթոդաբանության ընտրությանը՝ հաշվի առնելով կիրառվող սարքավորման տեխնիկական բնութագրերը: Ներխրման գործընթացի ֆոտոգրանցման հատուկ մշակված մեթոդաբանությամբ անցկացված փորձերի արդյունքների համաձայն՝ տեղի է ունենում կտրման արագության անկում, ինչը հաստատում է մշակվող նյութի մեջ կտրող սայրի ներխրման անցումային գործընթացում մեխանիկական հարվածի առկայությունը:

Առանցքային բառեր. ընդհատ կտրում, հարված, արագընթաց ֆոտոնկարահանում, մեթոդիկա:

**INVESTIGATING THE IMPACT PHENOMENA
AT INTERRUPTED CUTTING BY PHOTOREGISTRATION METHOD**

M.M. Simonyan, V.A. Balayan, N.E. Ghazaryan

The main experimental methods for revealing the impact phenomena at interrupted cutting are considered, their characteristics, advantages and disadvantages are analyzed. The photoregistration method for recording the impact duration in order to reveal the effect of the impact phenomena on the performance of the cutting wedge at interrupted cutting is studied in detail. The methods of the tool and the billet initial contact fixing on the photographic film are investigated. A special attention is paid to the selection of the experiment methodology taking into account the technical characteristics of the equipment used. According to the results of experiments conducted by a specially developed technique with photographing the process of insertion, there is a drop in the cutting speed, which confirms the presence of mechanical impact during the transient process of inserting the cutting wedge into the processed material.

Keywords: interrupted cutting, impact, high-speed photographing, methods.