

Рис. 4. Распределение микротвердости по длине отверстия

Одним из превалирующих критериев оценки эмпирических зависимостей является соответствие фундаментальным положениям. Исходя из известного положения о том, что сила при дорновании пропорциональна значению твердости [4], можно сделать вывод о правильности выведенной зависимости.

#### Библиографические ссылки

1. *Одинцов Л. Г.* Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием : справочник. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с. : ил.

2. *Батинов И. В., Пузанов Ю. В.* Исследование точности финишной обработки глубоких отверстий малого диаметра // Новые материалы в технологии машиностроения : сб. науч. тр. – Брянск : БГИТА, 2009. – Вып. 10. – С. 7–9.

3. *Румицкий Л. З.* Математическая обработка результатов эксперимента : справочное пособие. – М. : Наука, 1971. – 192 с. : ил.

4. *Розенберг А. М., Розенберг О. А.* Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. – Киев : Наук. думка, 1990. – 320 с. : ил.

*I. V. Batinov*, PhD in Engineering, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

*I. N. Sannikov*, Sarapul Polytechnic Institute (branch), Kalashnikov Izhevsk State Technical University

#### Study of Micro-hardness Distribution Along the Length of the Hole after Surface Burnishing in Light-Press Joints

*Hardening after surface burnishing is investigated, micro-hardness distribution along the length of low diameter holes machined with low interference is considered, the influence of the micro-hardness on the length of the machined surface is revealed.*

**Key words:** burnishing, micro-hardness, low interference, joint.

УДК 623.4.01

**М. Е. Драгунов**, кандидат технических наук, доцент, ОАО «Ижевский механический завод»

**А. Л. Конышев**, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

## ПРЕДЕЛЫ ПРИМЕНИМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ УЗЛА ЗАПИРАНИЯ РУЖЕЙ С ОТКИДЫВАЮЩИМИСЯ СТВОЛАМИ

*Приводятся результаты натурного эксперимента, позволяющего определить реальные нагрузки, действующие на узел запирания охотничьего ружья с вертикальным расположением стволов МР-234, а также дается оценка применимости нескольких существующих на сегодняшний день методик оценки прочности этого узла, в основе которой лежит сравнение расчетных и экспериментальных данных.*

**Ключевые слова:** оружие, инерционные нагрузки, отдача, узел запирания.

«Узел запирания – устройство, предназначенное для ограничения смещения зеркала затвора и казенного среза ствола в момент выстрела, вызываемого действием давления пороховых газов на дно и скаты гильзы» [1].

Основным противоречием современного стрелкового оружия является противоречие между транспортабельностью (необременительной переноской образца и его оперативной маневренностью) и эффективностью стрельбы (воспринимаемой стрелком отдачей и кучностью боя). В частности, оно выража-

ется в стремлении к снижению массы оружия, в том числе и использующего высокоимпульсные боеприпасы класса «магнум». При этом возрастают инерционные нагрузки на основные детали и узлы, в том числе и на узел запирания.

В оружии с откидывающимися стволами этот узел является наиболее нагруженным, он обеспечивает прочность и безопасность изделия, а также его эксплуатационные качества, такие как живучесть и кучность.

Существующие в настоящее время методики расчета узла запирания можно подразделить на две группы:

- расчет по максимальному давлению пороховых газов в канале ствола [2, 3];
- расчет по максимальной силе инерции ствольного блока [1, 4].

При этом следует отметить, что нормативным документом Министерства оборонной промышленности [1] рекомендовалось вести расчет по силе инерции, действующей по направлению отдачи. Схема нагружения представлена на рис. 1.

Движущая оружие сила – сила давления пороховых газов; действующая на узел запирания сила – сила инерции ствольного блока.

$$F_{in} = M_{mb} \cdot \ddot{x}_{max} = M_{mb} \cdot \frac{P_{max} \cdot S_{br}}{M_{gun}}, \quad (1)$$

где  $P_{max}$  – максимальное давление пороховых газов;  $S_{br}$  – площадь поперечного сечения канала ствола;

$M_{mb}$  – масса ствольного блока с цевьем и шарниром;  $M_{gun}$  – масса всего ружья.

В реальных условиях оружие при выстреле совершает также вращательное движение в вертикальной плоскости относительно середины затыльника приклада; при этом на затворную коробку и элементы механизма запирания со стороны ствольного блока действуют инерционные нагрузки, обусловленные тангенциальным ускорением оружия. В [4] напряженное состояние затворной коробки рассматривалось с учетом изгибающего момента, обусловленного силой инерции во вращательном движении; предполагалось, что максимальное угловое ускорение совпадает по времени с максимальным линейным ускорением. При этом допущении расчетные значения напряжений, обусловленных тангенциальными силами инерции, достигают величин, соизмеримых с напряжениями от продольной составляющей силы инерции.

Как в [1], так и в [4] рассматривается случай свободного (ничем не тормозимого) отката оружия.

Авторами для определения инерционных нагрузок предложена модель, учитывающая реакцию со стороны стрелка. Влияние стрелка имитирует приведенная масса, сосредоточенная в середине затыльника приклада (точке вращения оружия), и упругий элемент, имеющий начальное поджатие (рис. 2). Параметры массы и пружины (начальное поджатие и жесткость) приняты соответствующими требованиям отраслевого стандарта [1] для испытательных стендов.

Свободная отдача оружия в продольном направлении

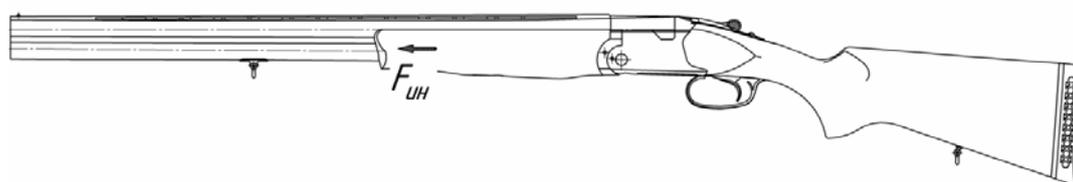


Рис. 1. Схема нагружения по методике [1]

Отдача оружия в продольном направлении с учётом реакции "Стрелка"

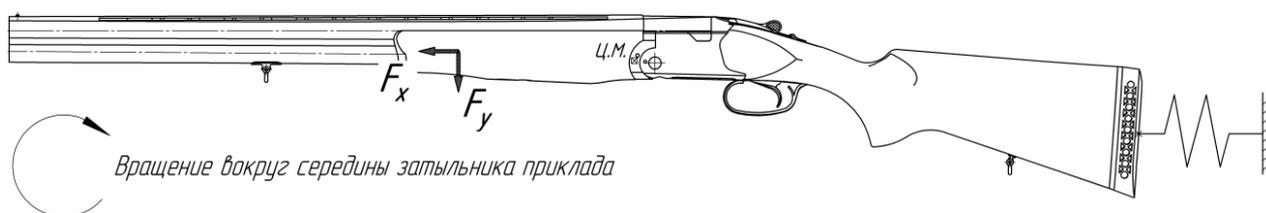


Рис. 2. Предлагаемая расчетная схема

Движущая оружие сила – сила давления пороховых газов; действующие на узел запирания силы – вертикальная и горизонтальная составляющие силы инерции ствольного блока. Расчет ведется в динамике.

$$F_x = M_{mb} \cdot \ddot{x} = M_{mb} \cdot \frac{\int P_{max} dt \cdot S_{br} - x \cdot C - R}{M_{gun}}, \quad (2)$$

где  $x$  – перемещение точки вращения;  $C$  – жесткость упругого элемента;  $R$  – сила предварительного поджатия упругого элемента.

$$F_y = M_{mb} \cdot \ddot{\phi} \cdot L_{cmb} = M_{mb} \cdot \frac{\int P_{br} dt \cdot S_{br} \cdot H - M_{gun} \cdot g \cdot L_{cg}}{J_{gun}} \cdot L_{cmb}, \quad (3)$$

где  $L_{cmb}$  – плечо действия силы инерции (от точки вращения до центра масс ствольного блока с цевьем и шарниром);  $H$  – плечо действия силы давления пороховых газов;  $J_{gun}$  – момент инерции ружья в вертикальной плоскости;  $g$  – ускорение свободного падения;  $L_{cg}$  – плечо действия силы тяжести (от точки вращения до центра масс ружья).

Для оценки адекватности моделей нагружения оружия при выстреле был проведен эксперимент по исследованию динамики ружья с вертикальным расположением стволов МР-234.

На первом этапе эксперимента высокоскоростной видеокамерой MegaSpeed 1000NI с частотой 240 кадров/сек. фиксировался общий план движения оружия при выстреле (рис. 3). Отслеживание двух контрольных точек, расположенных на дульном срезе стволь-

ного блока и на ствольной коробке ружья, подтвердило предположение, что вращение оружия в вертикальной плоскости происходит вокруг точки, расположенной в зоне середины затыльника приклада. При этом в течение выстрела точка вращения, лежащая на соединяющей контрольные метки линии, перемещалась по затыльнику приклада в пределах 32 мм по вертикали, оставаясь при этом в его средней зоне.

На втором этапе эксперимента фиксировалось перемещение контрольной точки, расположенной у дульного среза ствольного блока (рис. 4). Частота съемки составляла 1870 кадров/сек. Стрельба велась патронами ООО «СКМ-Индустрия» 12×76 «магнум» (масса дробового снаряда 46 г,  $V_d = 403$  м/с,  $P_{max} = 103$  МПа).



Рис. 3. Общий план движения оружия при выстреле

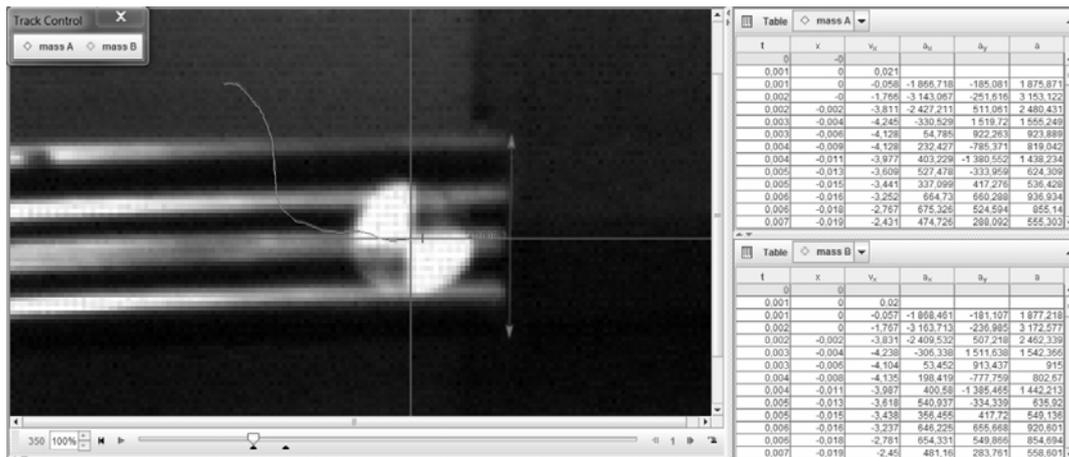


Рис. 4. Обработка результатов эксперимента, двукратное отслеживание контрольной точки

С использованием программного обеспечения Tracker Video Analysis and Modeling ver. 4.82 были рассчитаны величины ускорений контрольной точки, для этого использовался метод кубической интерполяции. Инерционные нагрузки были определены по расчетным масс-инерционным характеристикам ружья. Сто-

ит отметить, что, как показал эксперимент, момент достижения максимальных продольных ускорений не совпадает по времени (наступает раньше на 0,8 мс) с моментом достижения максимальных поперечных ускорений. Поэтому расчеты реакций на несущих элементах были проведены отдельно для обоих случаев.

Результаты расчета реакций на несущих элементах по экспериментальным данным и по расчетным моделям приведены в таблице, при этом знак «←» перед значением действующей силы означает, что она направле-

на в сторону, противоположную предполагаемому движению контрольной точки, а знак «→» перед значением силы реакции означает отрыв контактных поверхностей взаимодействующих запорных элементов.

Метод расчета		Действующие силы, Н		Реакции на ..., Н			
		$F_x$	$F_y$	...боковых крюках	...подствольном крюке	...запорной планке	
Верхний	Эксперимент	$F_{x_{max}}$	5816	-132	3085	3904	1516
		$F_{y_{max}}$	-335	1581	9861	-6621	6819
	$P_{max}$		27615	-	33122	7044	22121
	Отраслевой стандарт		15792	-	10655	9149	5675
	Метод авторов		8150	3112	22345	-7924	16581
Нижний	Эксперимент	$F_{x_{max}}$	5731	-361	1564	4788	475
		$F_{y_{max}}$	2954	-516	-1296	3807	-1201
	$P_{max}$		27615	-	14923	18291	6800
	Отраслевой стандарт		15792	-	10655	9149	5675
	Метод авторов		8150	2239	19778	-4377	12751

Обобщая экспериментальные данные и результаты расчетов, можно сделать следующие выводы.

1. Процесс движения оружия при выстреле делится на два последовательных участка: откат в направлении действия силы отдачи и вращательное движение относительно точки упора приклада в плечо; максимальные значения линейного и углового ускорения не совпадают по времени. Тем самым гипотеза об одновременном действии инерционных силовых факторов от линейного перемещения и от вращательного движения не имеет основания.

2. Тангенциальные ускорения, в зависимости от того, из какого ствола произведен выстрел, различаются как по направлению, так и по величине. Наибольшее по модулю значение тангенциального ускорения соответствует выстрелу из верхнего ствола.

3. Расчет по максимальной силе давления пороховых газов дает существенно завышенные значения нагрузки на элементы узла запираения и может быть использован лишь на начальном этапе проектирования изделия для сравнительной оценки перспективности той или иной конструктивной схемы данного узла.

В качестве общего заключения по проделанной работе можно отметить следующее: адекватная модель нагружения ствольной коробки и элементов узла запираения оружия с откидывающимися стволами должна учитывать влияние стрелка на поступательное и вращательное движение оружия при отдаче и последовательный характер поступательного и вращательного движения.

**Библиографические ссылки**

1. ОСТ В3-5403-82. Стрелковое, спортивное и охотничье оружие. Методы расчета прочности. Лабораторные и стендовые испытания / Министерство оборонной промышленности. – М., 1982. – С. 6, 32-41.
2. Бутурлин С. А. Стрельба пулей. Охотничье пульное оружие : в 2 т. – СПб. : Наша охота, 1913. – С. 97.
3. Barthold W. Jagdwaffenkunde. – Berlin : VEB Verlag Technik, 1979. – P. 61.
4. Ломаева Л. Г., Драгунов М. Е. Подход к проектированию граверной композиции с учетом нагрузок, возникающих при выстреле // Вестник ИжГТУ. – 2007. – № 1. – С. 69-71.

M. E. Dragunov, PhD in Engineering, Associate Professor, JSC "Izhevsky Mehanichesky Zavod"  
A. L. Konyshhev, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

**Limitations of Some Methods for Locking Unit Load Analysis of Brake-Down-Type Firearms**

The article is devoted to the experiment which allows to evaluate strength of the locking unit of the over-and-under hunting shotgun MP-234 by definition of real operating forces. Also, some current methods of such theoretical evaluation are described and limitations of these schemes are found by means of comparison with the experimental results.

**Key words:** firearm, inertia forces, recoil, locking unit.