

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА

DOI 10.26163/RAEN.2021.66.80.006

УДК 623.45

P.M. Vinnik

POSSIBLE WAYS TO IMPROVE MANUFACTURING TECHNOLOGY OF SMALL ARMS CARTRIDGE CASES AND SMALL-CALIBER ARTILLERY

Pyotr Vinnik – Head of the Department of Higher Mathematics, D. F. Ustinov Baltic State Technical University «VOENMEH», Doctor of Engineering, Associate Professor, St. Petersburg; e-mail: vinnik_pm@voenmeh.ru.

We consider issues related to the reliability and effectiveness of weapons largely ensured by the quality of manufacturing of the metal elements of cartridges. The basic directions for the development of the production technology of the elements in question are identified based on the level of the development of technological parameters control tools, technological equipment, its capabilities for implementing the proposed recommendations and mathematical models of physical processes making up certain technological operations. The problem of drawing a different-walled billet is analyzed. The introduction of new measuring tools as well as the improvement of mathematical models for calculating cold-stamping operations are seen as the most promising directions.

Keywords: reliability; efficiency; cartridge case; billet; accuracy improvement; mechanical properties; technology; mathematical model.

П.М. Винник

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ГИЛЬЗ ПАТРОНОВ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ И МАЛОКАЛИБЕРНОЙ Артиллерии

Петр Михайлович Винник – зав. кафедрой высшей математики, Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова доктор технических наук, доцент, г. Санкт-Петербург; e-mail: vinnik_pm@voenmeh.ru.

В статье рассматриваются вопросы, связанные с надежностью и эффективностью оружия, что в немалой степени обеспечивается качеством изготовления металлических элементов патронов. Выявлены базовые направления развития технологии производства этих элементов, базирующиеся на уровне развития средств контроля технологических параметров, уровне технологического оборудования, его возможностях по реализации предлагаемых рекомендаций и математических моделях физических процессов, реализующихся в отдельных технологических операциях. Анализируется решение задачи вытяжки разностенной заготовки. Наиболее перспективными представляются внедрение новых измерительных инструментов, а также совершенствование математических моделей расчета холодноштамповочных операций.

Ключевые слова: надежность; эффективность; гильза; заготовка; повышение точности; механические свойства; технология; математическая модель.

Надежность и эффективность оружия в целом во многом определяются качеством изготовления металлических элементов патронов, в том числе гильз. Производство патронов носит массовый характер, а потому характеризуется высоким уровнем механизации и автоматизации производства, широким применением холодной штамповки, позволяющей обеспечить высокую производительность и требуемое качество изделий при приемлемой точности и низких себестоимости и трудоемкости.

В [7, с. 9] указано, что среди основных направлений развития патронно-гильзового производства важное место занимают разработка научно обоснованных методик проектирования технологических процессов (далее – ТП) и внедрение систем технического контроля, гарантирующих выпуск продукции высокого качества.

В [8, с. 6] указывается, что тенденции развития технологии машиностроения сводятся к **повышению точности изготовления деталей**, что приводит к усложнению кинематики технологического оборудования, увеличению скоростей рабочих органов, а также автоматизации ос-

новных и вспомогательных операций, контролю и управлению всем производством с использованием ЭВМ.

Из анализа типового ТП изготовления гильзы патрона стрелкового оружия (см. таблицу, а также [7]) следует, во-первых, что формоизменение заготовки производится на холодноштамповочных операциях (далее – ХШ), а формирование механических свойств – и на холодноштамповочных, и на термических операциях (далее – ТО).

Расчет отдельных технологических операций и проектирование новых ТП в целом, а также совершенствование существующих ТП во многом базируются на:

- уровне развития средств контроля технологических параметров;
- уровне технологического оборудования, его возможностях по реализации предлагаемых рекомендаций;
- математических моделях физических процессов, реализующихся в отдельных технологических операциях.

Поясним это.

Во-первых, типичные технические требования по механическим свойствам, предъявляемые к гильзам патронов стрелкового оружия, показаны на рис. 1. Эти

**Типовой технологический процесс изготовления гильзы патрона
стрелкового оружия**

№ п/п	Метод обработки	Вид операции
1	ХШ ¹	Свертка с утонением
2	ТО ²	Отжиг
3	ХО ³	Травление, нейтрализация, фосфатирование, омыление
4	ХШ	1-я вытяжка с утонением
5	ХШ	2-я вытяжка с утонением
6	ТО	Отжиг
7	ХО	Травление, нейтрализация, фосфатирование, омыление, сушка
8	ХШ	3-я вытяжка с утонением
9	ХШ	Обрезка
10	ХШ	4-я вытяжка с утонением
11	ХШ	Штамповка дна 1
12	ХШ	Штамповка дна 2
13	ТО	Отжиг
14	ХО	Травление, нейтрализация, фосфатирование, омыление, сушка
15	ХШ	Обжим 1
16	ХШ	Обжим 2
		Комплекс контрольных операций

¹ ХШ – холодноштамповочная операция

² ТО – термическая операция

³ ХО – химическая операция

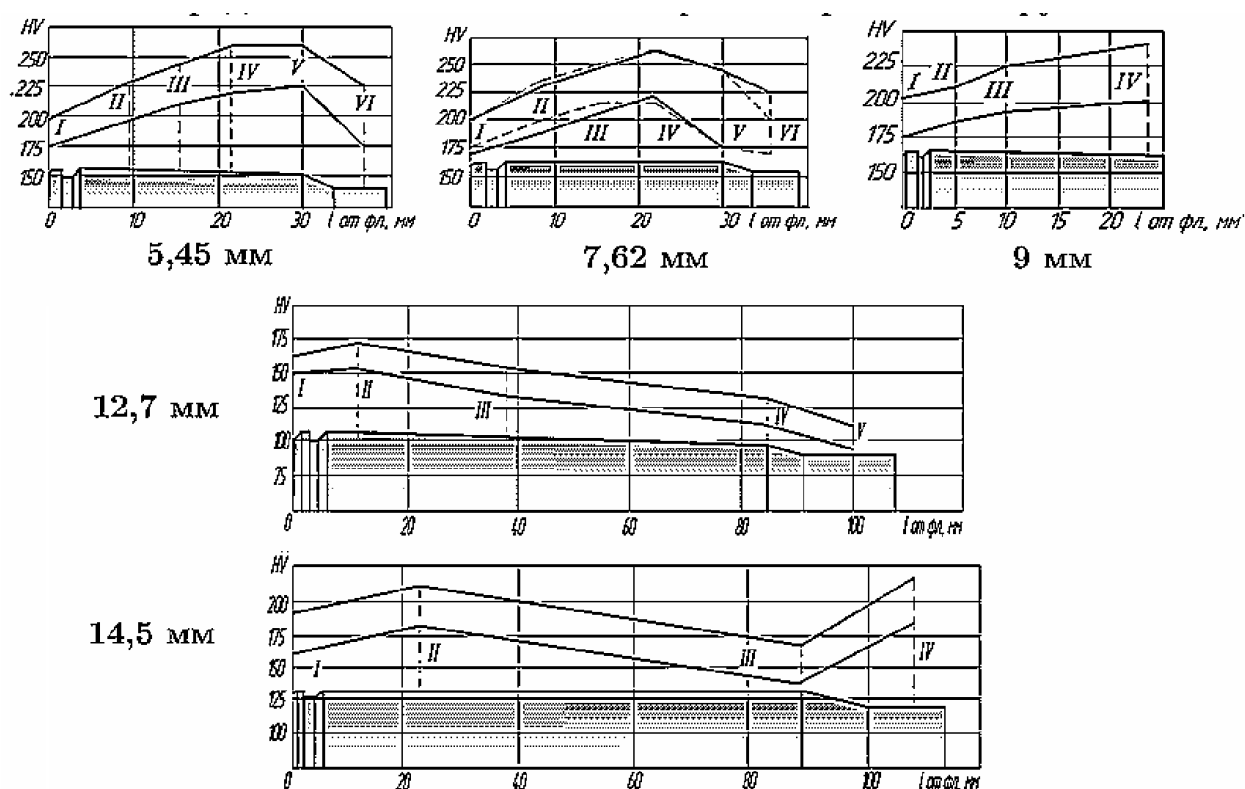


Рис 1. Технические требования по механическим свойствам, предъявляемые к гильзам патронов стрелкового оружия

требования по механическим свойствам контролируются замерами твердости по контрольным сечениям. Как видно из рис. 1, замеры твердости производятся в 4–6 контрольных сечениях при общей высоте гильз от 25 до 112 мм. Учитывая, что замеры твердости на стационарных твердомерах (ПМТ-3М и подобных) требуют существенных временных и технических затрат, ясно, что количество контрольных сечений выбирается из условия достижения компромисса между желаемым уменьшением этих затрат и необходимостью обеспечить требуемый уровень функционирования патронов (допустимый процент отказов, определяемый техническими условиями).

Таким образом, повышение качества гильз возможно только при наличии в промышленности инструментального оборудования, позволяющего без дополнительных временных и технических затрат увеличить количество контрольных сечений, что повысит стабильность механических свойств вдоль образующей гильзы, и тем самым, стабильность функционирования патронов.

Уже существуют портативные твердомеры, основанные как на методе Роквелла (Equostat 3), так и на методе Либавдарного действия (AR396, Equotip), которые позволяют получить результаты измерений твердости практически мгновенно и автоматически записать результаты в компьютер. Да, такие твердомеры не предназначены напрямую для гильзового производства, т.к. имеют ограничения на кривизну и толщину измеряемого образца (как правило, не менее 1 мм), а потому их применение пока возможно, например, для калибра 30 мм и должно опираться на разработку и внедрение соответствующей технологической оснастки.

Однако существенное упрощение процедуры контроля твердости и резкое сокращение времени на такой контроль позволят, например, путем распространения контроля механических свойств от контрольных сечений на всю протяженность (или ее большую часть) образующей гильзы, существенно повысить стабильность механических, а, следовательно, и функциональных характеристик гильз.

Во-вторых, в 60-х годах прошлого века, когда под руководством И.П. Ренне в Тульском Политехническом институте были проведены обширные и чрезвычайно основательные исследования холодноштамповочного процесса вытяжки с утонением стенки, в частности, с использованием метода делительных сеток (см., например, [6]), технические возможности по нанесению делительной сетки были весьма ограничены.

Процитируем [6]: «Наиболее простым является способ царапания, позволяющий получить главным образом прямоугольные сетки. На плоскую поверхность сетку наносят на строгальном станке. Образец закрепляют на столе станка, перемещение стола за один проход делают равным шагу сетки. В резцедержателе устанавливают остро заточенный резец или специальную иглу. Поверхность образца покрывают параллельными рисками, затем образец поворачивают на 90° и наносят второе семейство рисок».

В настоящее время широко доступным является нанесение как прямоугольных, так и радиально-угловых сеток лазерной резкой. Сходным образом обстоит дело и с возможностями (реально имеющимися и требуемыми) другого технологического оборудования. Эти возможности, с одной стороны, по-прежнему имеют существенные ограничения, но, с другой стороны, существенно возросли по сравнению с периодом разработки типовых технологических процессов изготовления гильз стрелкового оружия (1940-е – 1970-е годы), что не вполне используется при проектировании новых и совершенствовании существующих ТП.

В-третьих. Математические модели, учитывающие микроструктуру материала, пока не нашли применения в практике проектирования технологических процессов, как в силу их недостаточной проработанности, недоведенности до уровня инженера-технолога, так и сложности необходимого для их применения измерительного инструмента и его отсутствия на производстве.

Поэтому при расчетах холодноштамповочных технологических операций,

входящих в ТП, основой является применение макромоделей, т.е. приближенное решение соответствующей задачи пластичности [4; 5]. Развитие и построение методик решения таких задач повысило бы точность расчетов, чем существенно способствовало бы совершенствованию технологии производства гильз стрелкового оружия и малокалиберной артиллерии.

Математический аппарат теории пластичности пока не позволяет в полной мере получить ответы на многочисленные вопросы, возникающие в ходе таких расчетов. Приходится удовлетворяться различными приближенными решениями, позволяющими установить зависимости формируемых механических свойств металлических элементов боеприпасов от технологических параметров.

Но даже в рамках таких приближенных моделей (значительное их количество для холодноштамповочных операций приведено в [1; 4; 5; 7] и многочисленных научных статьях), как правило, отсутствуют модели, учитывающие массово возникающие в реальном производстве отклонения геометрических размеров (разнотолщинность листовой заготовки, разностенность цилиндрических заготовок), погрешности установки заготовки и инструмента (несоосность), неравномерный износ инструмента, неоднородные условия смазки, взаимно влияющие друг на друга и приводящие к регулярным и нерегулярным отклонениям формирующихся на холодноштамповочных операциях механических свойств изделий и вынужденному отказу от допущения об осесимметричном характере деформации, имеющего крайне существенное значение для решения задачи пластичности.

Поясним возникающие трудности примером. Как следует из вышеприведенной таблицы, одной из основных холодноштамповочных операций в ТП изготовления гильзы патрона стрелкового оружия является вытяжка с утонением стенки.

В предположении осесимметричного характера деформирования и достаточно большого радиуса заготовки по сравнению с толщиной ее стенки, позволяющего

пренебречь деформациями в окружном направлении, принятии идеально жестко-пластической модели материала и предположении стационарного характера процесса решение задачи построено в [5, гл. 15] и дополнено в [6] вычислениями степени деформации в зависимости от условий трения по матрице и пуансону.

В рамках теории течения один из методов построения решения задачи теории пластичности состоит в задании полуопределенных (зависящих от неизвестных функций и числовых параметров) скоростей течения, вычислении по ним деформаций (автоматически тоже оказывающихся полуопределенными), затем вычислении по этим деформациям напряжений из соотношений теории течения, подстановке этих (тоже полуопределенных) напряжений в уравнения равновесия, и наконец, нахождении из полученных соотношений тех самых неизвестных функций, а из граничных условий, учитывающих условия трения, – неизвестных числовых параметров. Схематично это пока-

зано на рис. 2.

Принятые в [5, гл. 15] допущения математически сводят задачу к следующему (см. рис. 3, на котором приведена общая схема вытяжки с утонением стенки).

Следует обратить внимание на обстоятельства, которые возникли благодаря принятым допущениям и которые играют сейчас существенную роль в благополучном решении задачи:

- две из трех скоростей течения равны нулю;
- три из шести скоростей деформации равны нулю, а потому два из шести напряжений тоже равны нулю;
- вместо трех уравнений равновесия остались всего два уравнения;
- в силу «удачного» вида интенсивности скоростей деформации ξ_i напряжение $\tau_{r\varphi}$ оказывается функцией только от переменной φ .

Полученное в [5, гл. 15] решение по самим принятым при его построении допущениям не учитывает разностенности

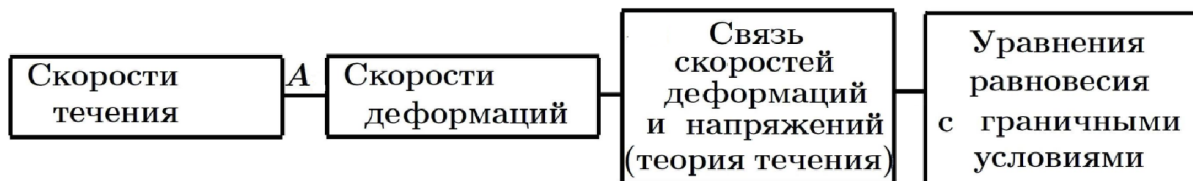


Рис. 2. Общая схема задачи теории пластичности (в рамках теории пластического течения)

$\begin{aligned} V_r &= \frac{f(\varphi)}{r}, \\ V_\varphi &= 0, \\ V_\theta &= 0, \end{aligned}$	$\begin{aligned} \xi_r &= -\frac{f(\varphi)}{r^2}, \\ \xi_\varphi &= \frac{f(\varphi)}{r^2}, \\ \xi_\theta &= \eta_{r\theta} = \eta_{\varphi\theta} = 0, \\ \eta_{r\varphi} &= \frac{f'(\varphi)}{r^2}, \end{aligned}$	$\begin{aligned} \sigma_r &= \sigma_0 + \frac{2}{3} \frac{\sigma_T}{\xi_i} \xi_r, \\ \sigma_\varphi &= \sigma_0 + \frac{2}{3} \frac{\sigma_T}{\xi_i} \xi_\varphi, \\ \sigma_\theta &= \sigma_0, \\ \tau_{r\varphi} &= \frac{1}{3} \frac{\sigma_T}{\xi_i} \eta_{r\varphi}, \\ \tau_{r\theta} &= \tau_{\varphi\theta} = 0, \end{aligned}$	$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} &= 0, \\ \frac{\partial \sigma_\varphi}{\partial \varphi} + 2\tau_{r\varphi} &= 0, \end{aligned}$
---	--	---	---

где $\xi_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\xi_r - \xi_\varphi)^2 + (\xi_r - \xi_\theta)^2 + (\xi_\theta - \xi_\varphi)^2 + \frac{3}{2}(\eta_{r\varphi}^2 + \eta_{r\theta}^2 + \eta_{\varphi\theta}^2)}$ – так называемая интенсивность скоростей деформации, которая в данном случае (при указанных допущениях) принимает простой вид $\xi_i = \frac{1}{r^2 \sqrt{3}} \sqrt{4f^2(\varphi) + [f'(\varphi)]^2}$, σ_T – напряжение текучести (константа – в силу идеальной жесткопластической модели), $f(\varphi)$ – неизвестная функция, подлежащая определению.

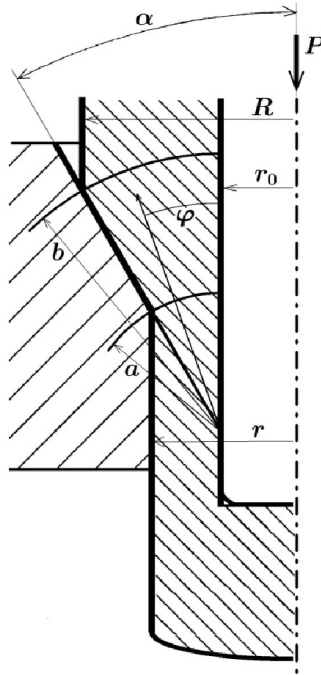


Рис. 3. Общая схема вытяжки с утонением стенки

заготовки и конусности вытяжного пуансона. Кроме того, возможности его применения к расчету вытяжки заготовок гильз патронов стрелкового оружия малых калибров носят ограниченный характер, так как в этом случае необходимо отклонить допущение о плоском характере процесса, то есть о $\xi_\theta = 0$.

Необходимость учесть разностенность приводит к отказу от допущения осесимметричного характера процесса, то есть от предположения, что скорости течения не зависят от окружной переменной θ . Необходимость учесть конусность пуансона – к отклонению предположения о стационарности процесса, и, как следствие, отказу от допущения, что $V_\varphi = 0$ (результаты проведенных экспериментальных исследований показывают отклонение хода процесса от стационарного). Не-

обходимость расчета гильз малых калибров – к отказу от равенства окружной скорости деформации нулю $\xi_\theta = 0$.

Во всех этих случаях построение решения становится проблематичным.

Наибольшие трудности связаны с очень сложным характером зависимости интенсивности скоростей деформации от искомых скоростей течения. Для упрощения этой зависимости применяются различные приближенные формулы [2], которые, однако, не позволяют полностью устранить затруднения.

Наиболее актуальным для промышленности представляется построение решения задачи вытяжки разностенной заготовки.

Проведенные в БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова пробные эксперименты ограниченного объема позволяют предпо-

$V_r = V_r(r, \varphi),$ $V_\varphi = V_\varphi(r, \varphi),$ $V_\theta = 0,$	$\xi_r = \frac{\partial V_r}{\partial r},$ $\xi_\varphi = \frac{1}{r} \frac{\partial V_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{V_r}{r},$ $\xi_\theta = \eta_{r\theta} = \eta_{\varphi\theta} = 0,$ $\eta_{r\varphi} = \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial V_\varphi}{\partial r} - \frac{V_\varphi}{r},$	$\sigma_r = \sigma_0 + \frac{2}{3} \frac{\sigma_T}{\xi_i} \xi_r,$ $\sigma_\varphi = \sigma_0 + \frac{2}{3} \frac{\sigma_T}{\xi_i} \xi_\varphi,$ $\sigma_\theta = \sigma_0,$ $\tau_{r\varphi} = \frac{1}{3} \frac{\sigma_T}{\xi_i} \eta_{r\varphi},$ $\tau_{r\theta} = \tau_{\varphi\theta} = 0,$	$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial \varphi} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} = 0,$ $\frac{1}{r} \frac{\partial \sigma_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{\partial \tau_{r\varphi}}{\partial r} + 2 \frac{\tau_{r\varphi}}{r} = 0,$
---	--	--	---

ложить, что при построении такого решения можно сохранить допущение о независимости скоростей течения от окружающей переменной θ (конечно, это требует более основательного экспериментального подтверждения). В этом случае задача примет вид (при сложном выражении для ξ_i), а потому будет существенно сложнее.

Выводы

1. Изложены возможные направления совершенствования технологии гильзового производства.

2. Наиболее перспективными представляются внедрение на производстве новых измерительных инструментов, способствующее повышению точности измерений и сокращению временных и технических затрат на их проведение, а также всемерное совершенствование математических моделей расчета холодноштамповочных операций, направленное на учет отклонений геометрии инструмента и заготовки от идеала и установление в этих условиях зависимости неоднородности механических свойств от технологических параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев Н.П., Данилин Г.А., Огородников В.П. Технология производства патронов стрелкового оружия. Ч. 2. СПб.: БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,

2006. 533 с.

2. Винник П.М., Винник Т.В., Затеруха Е.В. Влияние упрощения интенсивности деформации на оценку механических свойств при помощи степени деформации // Вестник МГТУ Станкин. 2020. № 3 (54). С. 42–46.

3. Винник П.М., Иванов К.М., Данилин Г.А., Ремшев Е.Ю., Винник Т.В. Прогнозирование механических свойств детали, полученной вытяжкой с утонением // Металлообработка. 2015. № 4(88). С. 31–36.

4. Воронцов А.Л. Теория и расчеты процессов обработки металлов давлением. Т. 1. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 396 с.

5. Воронцов А.Л. Теория и расчеты процессов обработки металлов давлением. Т. 2. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 441 с.

6. Дель Г.Д., Новиков Н.А. Метод делительных сеток. М.: Машиностроение, 1979. 144 с.

7. Справочник по технологии патронного производства в 2 т. Т. 1 / под ред. Н.П. Агеева Балт. гос. техн. ун-т. СПб., 2011. 642 с.

8. Филонов И.П., Беляев Г.Я., Кожуро Л.М. [и др.]. Проектирование технологических процессов в машиностроении / под общ. ред. И.П. Филонова. Минск: Технопринт, 2003. 910 с.