



ИЗВЕСТИЯ

*Российской Академии
Ракетных и Артиллерийских Наук*

3 (40)

2 0 0 4

Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. Издание Российской академии ракетных и артиллерийских наук. Москва – 2004. Вып. 3 (40).

Публикуемые материалы призваны способствовать развитию теоретических основ создания и эффективного применения отечественного вооружения, пропагандировать достижения в области ракетного, артиллерийского, стрелкового, зенитного и других видов вооружения, радиоэлектронных средств, систем управления оружием, войсками и др.

Запросы по материалам выпуска направлять в НПО Специальных материалов по адресу: 194044, Санкт-Петербург, Б. Сампсониевский пр., 28А.

Тел. (812) 542-98-50, 248-85-68; факс: (812) 542-87-70, E-mail: raran@npo-sm.ru

Редакционный совет:

Председатель В. П. Киреев

*И. Б. Богоряд, Р. И. Илькаев, А. А. Каллистов, В. В. Панов,
В. А. Петров, М. В. Сильников, М. И. Соколовский, В. С. Соловьёв*

*Ответственный за выпуск
чл.-корр. РАРАН О. Т. Чижевский
(руководитель отделения)*

Главный редактор М. В. Сильников

Редакционная коллегия:

*А. М. Воробьёв, Л. С. Егоренков, А. Г. Комяженко (отв. секретарь),
В. А. Петров (зам. главного редактора), Ю. Ф. Подоплёкин, Э. К. Потёмкин,
О. Я. Романов, В. П. Сальников (зам. главного редактора), А. Ф. Уткин,
Ю. Н. Фесенко (зам. главного редактора), А. Е. Шалыгин, В. Е. Шульгин.*

Свидетельство о регистрации ПИ №2–6880 от 31.10.2003,
Северо-Западное окружное межрегиональное территориальное управление МПТР России

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВМЕЩЕННОГО ПОИСКА КОНСТРУКТОРСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ БОЕПРИПАСОВ

Чл.-корр. РАРАН В. А. Тарасов, В. Д. Баскаков

Процесс отработки боеприпасов на технологичность достаточно сложен, и хотя подробно регламентирован значительным количеством стандартов и проектировочных рекомендаций, носит, по существу, двух стадийный характер. Вызвано это тем, что при проектировании первоначально обеспечивается технологичность изделия для условий опытного производства предприятия – разработчика, а после принятия решения о серийном производстве боеприпаса, его технологичность улучшается с учетом особенностей и ограничений серийного завода. На данной стадии в конструкторскую документацию сложного изделия может быть внесено до нескольких десятков не только второстепенных, но и принципиальных изменений, что существенно увеличивает промежуток времени от начала разработки новых боеприпасов до серийной поставки их заказчику. Такая особенность процесса отработки боеприпасов на технологичность может снижать конкурентоспособность российского оружия на мировом рынке.

Устранить двухстадийность в процедуре обеспечения технологичности разрабатываемых боеприпасов можно при совмещенном принятии конструкторских и технологических решений на ранних этапах проектирования изделий с учетом их изготовления первоначально в условиях опытного, а затем и серийного производства. Остановимся на одном из возможных подходов к созданию методики принятия таких совмещенных решений, учитывая, что технология является не только средством изготовления боеприпасов, но и одним из основных факторов управления качеством продукции, и, прежде всего, эффективностью действия.

Примем, что работоспособность боеприпаса характеризуется числом l свойств, к которым можно отнести, например, эксплуатационные характеристики (бронепробивное действие, дальность прямого выстрела, кучность стрельбы и др.), показатели надежности (безотказность, сохраняемость и др.). В партии боеприпасов каждое i -е свойство ($i=1, 2, \dots, l$) конкретного изделия является случайной величиной,

зависящей, при прочих равных условиях, только от факторов технологической природы. Количественно любое i -е свойство будем характеризовать величиной Γ_p^i , определяющей, что в партии боеприпасов данное свойство с вероятностью p будет иметь значение не меньше чем Γ_p^i (для позитивных свойств) или не более чем Γ_p^i (для негативных свойств). Оценим вероятностное значение i -го свойства следующим образом:

$$\Gamma_p^i = \Gamma_{\max}^i + \Omega_p^i, \quad (1)$$

где: $\Gamma_{\max}^i$ – значение i -го свойства боеприпасов без учета технологических факторов;

Ω_p^i – изменение i -го свойства, зависящее от технологических факторов боеприпаса.

В частном случае $\Gamma_{\max}^i = 0$ (если, например, Γ_p^i – параметр эллипса рассеивания при оценке кучности стрельбы). Следует также отметить, что Ω_p^i является алгебраической величиной, причем $\Omega_p^i > 0$ и $\Omega_p^i < 0$ соответственно для негативных и позитивных свойств.

Изменение Ω_p^i каждого i -го свойства определяется совокупностью K технологических факторов, регламентированных технической документацией, и представляющих собой геометрические погрешности, параметры поверхностного слоя, свойства материалов, изменяемые технологическими воздействиями. Положим существование функциональной связи между Ω_p^i и этими технологическими факторами a_k (k – номер конкретного фактора, принимающий значения $k=1, 2, \dots, K$):

$$\Omega_p^i = \Omega_p^i(a_1, a_2, \dots, a_K). \quad (2)$$

В свою очередь, факторы a_k являются производными от конкретных производственно-технологических условий x , их обеспечения ($l=1, 2, \dots, L$), прежде всего, от применяемых для изготовления боеприпасов технологических процессов и особенностей их проведения. Это можно представить в форме обобщенной функциональной связи, учитывая

вающей, что каждый фактор a_k в общем случае обеспечивается различными технологическими процессами:

$$a_k^m = a_k^m(x_p, x_2, x_L), \quad (3)$$

где L – число производственно - технологических условий, влияющих на Ω_p^i ;

$m = 1, 2, \dots, M$ – номер варианта технологического процесса изготовления боеприпаса;

M – общее количество возможных вариантов технологического процесса.

Зависимость (3) указывает на возможность обеспечения фактора a_k с помощью различных технологических процессов.

На каждое i - е свойство Γ_p проектируемого боеприпаса техническим заданием накладываются директивное ограничение Γ_{pd} :

$$\Gamma_p > \Gamma_{pd} \text{ или } \Gamma_p < \Gamma_{pd} \quad (4)$$

Ограничения x_{ld} на производственно - технологические условия x_i

$$x_i > x_{ld} \text{ или } x_i < x_{ld} \quad (5)$$

определяются точностными возможностями используемых заготовок, применяемого оборудования, технологического оснащения и рядом иных причин.

Дополним приведенные выше функциональные связи и условия целевой функцией C (целевой функцией может быть, например, себестоимость, трудоемкость, материалоемкость продукции), зависящей от технологических факторов a_k

$$C = C(a_1, a_2, \dots, a_k). \quad (6)$$

Тогда для каждого m - го технологического процесса изготовления боеприпаса методами математического программирования можно найти совокупность производственно – технологических условий x_p , обеспечивающих экстремум C_{ext}^m целевой функции (6) при выполнении соотношений (1)...(3) и ограничений (4), (5). Дополнительным результатом решения этой задачи будут значения a_k технологических факторов, являющихся характеристиками проектируемого изделия.

Повторяя эту последовательность поиска производственно - технологических условий для всех значений m в диапазоне от 1 до M , можно в итоге найти совокупность параметров x_p, a_k , которым будет соответствовать наилучшее значение целевой функции в массиве экстремумов $C_{ext}^1, C_{ext}^2, \dots, C_{ext}^M$. Полученные результаты являются искомым совмещенным конструкторским и технологическим решением.

Для практической реализации данной оптимизационной задачи имеется значительная научно - методическая база. Например, в работах [1...3] предложены подходы к построению зависимостей (2), (3). Полученные результаты положены в основу решения задачи поиска технологических средств обеспечения точности прецизионных кумулятивных обливов, которая является частным случаем обобщенной задачи принятия совмещенных конструкторских и технологических решений.

Очевидно, что для получения универсального технологического решения, приемлемого как для опытного, так и для серийного производства, изложенную схему оптимизации необходимо реализовывать на общем множестве возможных технологических процессов опытного и серийного производств. Построение этого множества представляет собой серьезную самостоятельную проблему. Остановимся подробно на некоторых аспектах ее решения.

Для сокращения сроков технологической подготовки производства и улучшения технико-экономических показателей продукции при разработке технологических процессов серийного производства приняты подходы, основанные на следующих принципах [4]:

1. Типизация технологических решений, предполагающая совпадение (с небольшими возможными отклонениями) маршрутов изготовления деталей, обладающих общими конструктивно-технологическими признаками.

2. Групповая обработка, реализующая процесс изготовления конкретной детали как частный случай технологии условного объекта производства, включающего в себя основные конструктивные элементы, характерные для группы изготавливаемых деталей.

Для обоих подходов характерна достаточно жесткая последовательность выполнения технологических операций, осложняющая поиск технологий,

приемлемых одновременно для серийного и опытного производства. Чтобы придать технологическим процессам способность быстро адаптироваться к изменению конструктивных параметров боеприпасов и серийности их производства, можно использовать в качестве базы технологического проектирования принцип унификации, предполагающий целесообразное сокращение существующего многообразия действующих технологий, обеспечивающих однотипные требования конструкторской документации разных изделий с одновременным отказом от жесткой последовательности выполнения операций при изготовлении схожих деталей и переходом к построению технологических маршрутов методом их компоновки из минимально достаточного числа формо- и свойствообразующих операций.

Покажем целесообразность и возможность применения принципа унификации для проектирования маршрутных технологических процессов изготовления оболочечных деталей боеприпасов. К таким деталям относятся корпуса боевых частей, обтекатели, элементы конструкции двигателей, кумулятивные облицовки в форме конуса и сферического мениска, контактные конусы, баллистические наконечники и т. д. Данный класс изделий характеризуется единообразием конструктивных признаков. Выделим основные из них.

1. Толщины оболочек δ по отношению к их радиусам R ограничены величиной $\delta/R < 0,1$;

2. Большинство деталей являются осесимметричными оболочками;

3. Практически на всех типах оболочек регламентируются погрешности формы и взаимного расположения поверхностей, в том числе:

а. торцевое биение относительно цилиндрических базовых поверхностей, во многом определяющее плотность стыковых соединений при сборке и перекося осей деталей в изделии;

б. биение резьбовых поверхностей относительно цилиндрических баз, влияющее на соосность деталей при свинчивании и взаимное нависание их кромок;

с. отклонение от круглости, определяющее собираемость боеприпасов при центровке комплектующих деталей по гладким цилиндрическим посадкам;

д. разностенность деталей, оказывающая непосредственное влияние на кучность стрельбы и ве-

роятностные характеристики бронепробития боеприпасов.

Несмотря на общность важнейших конструктивных признаков, технологические процессы изготовления таких деталей, особенно в условиях опытного производства на предприятиях – разработчиках боеприпасов, отличаются значительным разнообразием. Применяя на завершающих операциях механическую обработку, в стадии формообразования заготовок технологические процессы используют листовую штамповку (вытяжка в штампах), горячую и холодную объемную штамповку (прошивка и протяжка в горячем состоянии, прямое и обратное холодное выдавливание, ротационная вытяжка с утонением, обжим и раздача трубных штучных заготовок, сферодвижная штамповка, штамповка эластичной средой). Реже при изготовлении деталей данного типа применяются штампосварные и порошковые заготовки.

Разнообразие заготовительных технологий, используемых на предприятиях отрасли, порождает широкую гамму технологических процессов, хотя и обеспечивающих однотипные свойства оболочек, но не всегда создающих пересекающиеся множества технологических решений в условиях опытного и серийного производств. Такое положение с технологией производства боеприпасов нельзя признать рациональным по следующим причинам.

1. В большинстве случаев технологические решения опытного производства без серьезной переработки оказываются не применимыми для серийных заводов, что вызвано не столько различием станочного парка предприятий, сколько стереотипами и традициями в технологической подготовке производства на конкретных заводах и в КБ. Данное обстоятельство существенно увеличивает сроки начала серийного производства боеприпасов и удорожает продукцию.

2. Некоторые технологические процессы избыточно многооперационные, так как основаны на применении заготовок пониженной точности.

3. Невысокая серийность, характерная для производства современных высокоточных боеприпасов, приводит к недозагрузке основного оборудования. Эта особенность, связанная с широтой номенклатуры оборудования серийных заводов и вызванная, в том числе, отсутствием унифицированных технологических решений при изготовлении объединенных общими конструктивными признаками деталей,

приводит к дополнительным затратам по консервации производственных мощностей предприятий, порождает проблемы, связанные с организацией на оборонных заводах выпуска продукции общемашиностроительного назначения.

В качестве основы унификации технологических решений оболочечных деталей боеприпасов можно использовать технологический процесс изготовления наиболее высокоточной оболочки – прецизионной кумулятивной облицовки, регламентированный отраслевым стандартом и состоящий из следующих основных формо- и свойствообразующих операций:

- ротационная вытяжка оболочечной заготовки;
- рекристаллизационный отжиг для обеспечения параметров структуры металла и восстановления его пластических свойств;
- калибровка внутренней поверхности по жесткому пуансону в эластичную матрицу;
- тонкое точение наружной поверхности детали при ее базировании на коническую оправку по калиброванной внутренней поверхности.

Калибровка полуфабриката по жесткому пуансону обеспечивает повышение точности внутренней поверхности и практически полностью устраи-

вает погрешности формы, появляющиеся у оболочек после ротационной вытяжки. Тонкое точение проводится при малых значениях глубины резания и подачи инструмента, придаст детали окончательную конфигурацию, а также обеспечивает качество поверхностного слоя и требования к разностенности. При этом точностные возможности данной технологии изготовления облицовок превосходят требования, предъявляемые к точности изготовления остальных оболочечных деталей боеприпасов, что позволяет положить в основу технологии их изготовления унифицированный блок технологических операций, включающий ротационную вытяжку полуфабриката, калибровку одной из его поверхности эластичным инструментом и последующую механическую обработку (табл. 1). Выбор схемы калибровки (обжим или раздача) проводится с учетом специфики формы оболочки, а также исходя из возможностей последующей механической обработки по выполнению требований, предъявляемых к точности детали.

Дополнительной мотивацией к унификации технологических процессов на основе указанного комплекса технологических операций служит то обстоятельство, что практически все предприятия отрасли, не зависимо от серийности выпускаемой

Таблица 1

Унифицированные маршрутные технологические процессы изготовления оболочечных деталей боеприпасов

Операция Деталь	Ротационная вытяжка	Рекристаллизационный отжиг	Калибровка эластичным инструментом внутренних поверхностей	Калибровка эластичным инструментом наружных поверхностей	Механическая обработка
Коническая облицовка	○	○	○		○
Сферический мениск	○		○		○
Обтекатель	○		○		○
	○			○	○
Контактный конус	○		○		○
Корпус боевой части	○		○		○
	○			○	○
Корпус двигателя	○		○		○

ими продукции, оснащены раскатным оборудованием (станки моделей РДС-200, «Конус», St40-22 и др.) и гидравлическими прессами усилием 4...10 МН, что позволяет изготавливать практически все оболочечные детали боеприпасов средних калибров.

По аналогии с изготовлением облицовок, между ротационной вытяжкой и калибровкой и для других оболочечных деталей может выполняться рекристаллизационный отжиг. Однако, упрочнение, приобретаемое металлом оболочек на операции ротационной вытяжки, может играть положительную роль в обеспечении механических свойств. Поэтому вопрос включения термообработки в технологический процесс изготовления конкретной детали должен прорабатываться отдельно.

Предложенный унифицированный блок технологических операций позволяет не только обеспечить единообразие технологий изготовления оболочечных деталей в опытно и серийном производстве. Он является базой для генерирования конечного множества возможных технологических процессов, необходимого при решении задачи совмещенного конструкторского и технологического проектирования, в автоматическом режиме на основе разрешительных и запретительных признаков, определяющих порядок следования формо- и свойствообразующих операций. Например, повторная калибровка эластичным инструментом позволяет повысить точность базовой поверхности оболочки только после ее отжига, восстанавливающего пластичность металла. Поэтому в структуре технологического процесса изготовления любой оболочечной детали комплекс последовательно выполняемых операций калибровка - отжиг - калибровка принципиально может быть разрешен, а блок операций калибровка - калибровка - нет, поскольку не рационален.

Для практической реализации технологической унификации в производстве оболочечных деталей необходимо провести детальные исследования закономерностей формирования и преобразования погрешностей при ротационной вытяжке, калибровке эластичным инструментом, механической обработке и разработать на этой основе методики проектирования маршрутных и операционных технологических процессов, а также технологического оснащения. Особое внимание, как показывает производственный опыт, следует обратить на проблему обеспечения точности оболочек в местах сопряжения цилиндрических и конических поверхностей, где

при ротационной вытяжке образуются трудно устраняемые искажения формы деталей.

Принцип унификации технологических решений можно распространить также на иные группы деталей и узлов боеприпасов, охватывая при этом механическое, сборочное и снаряжательное производство. Это позволит осуществить совмещенный поиск конструкторских и технологических решений, ориентируясь на весь комплекс предприятий, обеспечивающих производство боеприпасов.

Выводы

1. Для сокращения сроков подготовки производства новых боеприпасов разработан подход к реализации совмещенного поиска конструкторских и технологических решений, ориентированный на создание единого технологического процесса для условий опытного и серийного производства.

2. На примере оболочечных деталей показано, что при проектировании боеприпасов технологические процессы их изготовления следует разрабатывать на базе унифицированных комплексов технологических операций

3. Предложен унифицированный комплекс технологических операций изготовления оболочечных деталей боеприпасов, включающий ротационную вытяжку полуфабриката, его калибровку эластичным инструментом и последующую механическую обработку.

Литература

1. Тарасов В. А. Повышение эксплуатационных характеристик машин на базе управления технологической наследственностью // Проблемы машиностроения и надежности машин, 1994, №4.
2. Тарасов В. А., Баскаков В. Д., Дубовской М.А. Влияние технологической наследственности на пробивное действие кумулятивных зарядов // Оборонная техника, 1995, №4.
3. Тарасов В. А., Баскаков В. Д., Круглов П. В. Методика проектирования технологии изготовления высокоточных деталей боеприпасов // Оборонная техника, 2000, №1-2.
4. Технологичность конструкции изделия: Справочник / Ю. Д. Амиров, Т. К. Алфсера, П. Н. Волков и др.; Под общ. ред. Ю. Д. Амирова. — М.: Машиностроение, 1990. — 768с.