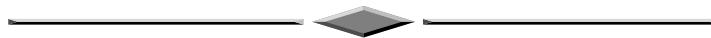


# ОПТИКА, ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И КОМПЛЕКСЫ



УДК 623.541

## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АНИЗОТРОПНОЙ ОБЛИЦОВКИ КУМУЛЯТИВНОГО ЗАРЯДА

### *Владилен Федорович Минин*

Доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии СССР, академик АТН РФ, e-mail: prof.minin@gmail.com

### *Олег Владиленович Минин*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой метрологии и технологии оптического производства, e-mail: kaf.metrol@ssga.ru

### *Игорь Владиленович Минин*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры метрологии и технологии оптического производства, e-mail: prof.minin@gmail.com

Работа посвящена технике кумулятивных зарядов, в частности технологии изготовления кумулятивных облицовок, которые могут быть использованы в перфорационной технике при прострелочно-взрывных работах в нефтедобыче или боевых частях снарядов или ракет. Рассматривается метод изготовления анизотропной облицовки кумулятивного заряда. При этом в качестве материала кумулятивной облицовки используется преимущественно медь или сплавы на основе меди, алюминий или сплавы на основе алюминия, железо или сплавы на основе железа.

**Ключевые слова:** кумулятивная струя, кумулятивный заряд, кумулятивная облицовка, анизотропия, технология, пробитие.

Задача увеличения глубины пробиваемой преграды является основной при разработке кумулятивных зарядов любого типа. Глубина пробиваемого отверстия во многом определяется качеством изготовления облицовки кумулятивного заряда, плотностью, пластичностью и микроструктурой ее материала.

Основными характеристиками, определяющими эффективность перфорации, является длина формируемой кумулятивной струи, которая пропорциональна пластичности материала струи, диаметру струи и максимальному градиенту скорости вдоль струи, а также плотность материала струи [1–3].

Во всех известных кумулятивных зарядах для увеличения длины кумулятивной струи уменьшают величину зерна в материале кумулятивной облицовки, для получения однородного измельченного зерна, близкого к равноосному. Технологии изготовления таких кумулятивных облицовок рассмотрены, например, в работах [4–7] и т. д.

Недостатками этих технологий являются низкая пробивная способность кумулятивного заряда, так как на величину пробивной способности оказывает влияние размер зерна в структуре металла, его направленность и обусловленные этим неоднородность и несимметрия свойств облицовки, а также низкая стабильность результатов кумулятивных зарядов при их испытании на пробиваемость, связанная с несимметрией обжатия кумулятивной облицовки.

Задачей работы является повышение пробивной способности заряда с кумулятивной облицовкой при одновременном повышении стабильности результатов кумулятивных зарядов при их испытании на пробиваемость.

Техническим результатом работы является получение в структуре облицовки кумулятивного заряда зерен с одинаковой кристаллографической направленностью, с равномерной столбчатой структурой, расположенных по нормали к образующей поверхности кумулятивной облицовки.

Известно, что применение в качестве инертного материала кумулятивных облицовок металла с однородной мелкозернистой структурой для повышения его пластичности обеспечивает «изотропные» механические свойства материала, но не позволяет использовать предельные свойства используемого металла, что приводит к уменьшению предельной получаемой длины кумулятивной струи и ее максимальной скорости и, как следствие, уменьшает эффективность перфорации [1–3]. Для обеспечения максимальной пластичности материала и изотропности механических свойств материала, зерна применяемых в кумулятивных облицовках материалов делают максимально мелкими, до величины несколько микрон, что повышает сложность их изготовления и стоимость устройства.

Известно, что механические свойства материала (скорость звука, пластичность, прочность и т. д.) различны для различных ориентаций кристаллов ее составляющих. Так, например, у меди анизотропия модуля упругости достигает почти 300 %. Под действием взрывного течения материала кумулятивной облицовки кристаллы превращаются в нитевидные, длина которых зависит от их размеров, а свойства – от их кристаллографического направления [3].

Основные механические свойства кристаллов, такие как пластичность, скорость звука, сжимаемость и т. д., являются тензорными и векторными величинами и различны в разных кристаллографических направлениях. Величина этого различия может быть значительной для гранецентрированных металлов с кубической решеткой. Например, скорость звука в меди в зависимости от кристаллографической направленности зерен изменяется от 2,8 км/с (направление  $\langle 001 \rangle$ ) до 4,7 км/с (направление  $\langle 111 \rangle$ ). Таким образом, максимальная скорость кумулятивной струи и ее длина могут изменяться в зависимости от кристаллографической направленности зерен материала кумулятивной облицовки.

При использовании кумулятивной облицовки с анизотропными механическими свойствами, в которой все кристаллы ориентированы в направлении течения материала, пластичность материала становится максимальной, возрастают длина кумулятивной струи и глубина перфорируемого отверстия. При этом эффективность такой кумулятивной облицовки не зависит от размеров зерен материала и повышается стабильность и эффективность перфорации.

Кумулятивная струя, состоящая из таких столбчатых кристаллов с различными механическими свойствами, имеет возможность аномального растяжения, что и является причиной высокой эффективности перфорации скважин.

Предлагается метод изготовления анизотропных облицовок для кумулятивных зарядов, включающий изготовление заготовки оболочечной детали кумулятивной облицовки и тонкое точение полученной детали, закрепленной в токарном станке. Новым является то, что заготовка оболочечной детали кумулятивной облицовки изготавливается методом направленного намораживания металла на кристаллизатор, при этом изготавливается кристаллизатор с внешней формой поверхности, совпадающей с внутренней формой поверхности кумулятивной облицовки, осуществляется наращивание полой оболочечной заготовки из расплава металла на охлаждаемый кристаллизатор с одновременным прессованием, с выдержкой кристаллизатора в расплаве на время, достаточное для формирования на нем столбчатых кристаллов перпендикулярно к внешней поверхности кристаллизатора на заданную толщину стенки с учетом припуска на механическую обработку. При этом в качестве пуассона, формирующего внутренний контур, используется водоохлаждаемый кристаллизатор, а в качестве матрицы, формирующий внешний контур облицовки, используется нагреваемая форма, температура которой поддерживается не менее чем на 5-10 градусов выше ликвидуса. Происходит вынимание кристаллизатора с заготовкой кумулятивной облицовки из расплава, снятие заготовки кумулятивной облицовки с кристаллизатора и охлаждение ее, например, на воздухе или в воде, удаление припуска с внешней поверхности кумулятивной облицовки. Кроме того, в качестве материала кумулятивной облицовки используется преимущественно медь или сплавы на основе меди, алюминий или сплавы на основе алюминия, железо или сплавы на основе железа. Кроме того, на поверхность кристаллизатора предварительно методом гальванического осаждения наращивается слой электролитической меди толщиной 200–300 мкм.

Процесс получения анизотропной облицовки осуществляют следующим образом. Изготавливают охлаждаемый кристаллизатор-пуассон с внешней формой поверхности, совпадающей с внутренней формой поверхности кумулятивной облицовки, затем в разогретую форму-матрицу заливают расплавленный металл, при этом температура нагреваемой формы-матрицы с помощью электронагревательного элемента поддерживается не менее чем на 5–10 градусов выше температуры ликвидуса. В качестве электронагревательного элемента может использоваться индукционная печь. Далее осуществляется погружение кристаллизатора-пуассона в расплав металла и наращивание полой оболочеч-

ной заготовки из расплава металла на охлаждаемый кристаллизатор-пуассон с одновременным прессованием расплава металла и выдержкой кристаллизатора-пуассона в расплаве на время, достаточное для формирования на нем столбчатых кристаллов перпендикулярно к внешней поверхности кристаллизатора на заданную толщину стенки с учетом припуска на механическую обработку. Изготовление облицовки происходит при большом переохлаждении и с большим перепадом температур. В этом случае формирование структуры облицовки происходит следующим образом: из зародышей кристаллов на поверхности кристаллизатора-пуассона, число которых можно регулировать степенью переохлаждения, идет рост в направлении теплоотвода, т. е. по нормали поверхности кристаллизатора-пуассона. При этом наблюдается два эффекта: все зерна развернуты в направлении роста кристаллографическим направлением, имеющим максимальную теплопроводность и совпадающим с направлением максимальной пластичности материала для металлов на основе меди, алюминия, железа; фронт кристаллизации отжимает легкоплавкие примеси в расплав, что приводит к дополнительной очистке материала облицовки. Например, для медной облицовки диаметром 42 мм процесс роста стенки облицовки происходит в зазоре всего 2 мм между формой-матрицей и кристаллизатором-пуассоном. Это позволяет получать заготовки облицовок с равномерной столбчатой структурой, с кристаллами, по размерам и по геометрии близкими к размерам чертежа. Затем вынимают кристаллизатор-пуассон с заготовкой кумулятивной облицовки из расплава, снимают заготовку кумулятивной облицовки с кристаллизатора-пуассона и охлаждают ее, например, на воздухе или в воде, удаляют припуск с внешней поверхности кумулятивной облицовки точением.

Кроме того, для того чтобы можно было использовать в качестве материала кумулятивной облицовки низкосортную медь, предварительно на кристаллизатор-пуассон методом гальванического осаждения наращивают слой чистой электролитической меди толщиной 200–300 микрон (толщина струеобразующего слоя), необходимой для струеобразования. В качестве низкосортной меди используется, например, медь марки МЗ.

Разработанная технология позволяет получить кумулятивные облицовки с плотной радиально-направленной столбчатой структурой, которые обладают высокой симметрией свойств в любом сечении облицовки, нормальной к ее оси, и оптимальными механическими свойствами при формировании кумулятивной струи, чем достигается повышенная эффективность кумулятивных зарядов с такими облицовками и высокая стабильность результатов кумулятивных зарядов при их испытании на пробиваемость (таблица).

Испытания таких облицовок из меди и алюминия показали, что они обладают повышенной на 10–20 % эффективностью по сравнению с эффективностью точеных и штампованных облицовок и обеспечивают стабильность пробития в 2–3 раза выше, чем стабильность таких же облицовок, полученных точением из проката или штамповкой из листа.

Сравнительные характеристики пробития

Способ изготовления	Относительная величина пробития	Относительная величина среднеквадратичного отклонения
Медные облицовки, изготовленные точением	1	1
Медные облицовки, изготовленные по предлагаемому способу	1,18	0,32
Медные облицовки, изготовленные по предлагаемому способу с внутренним электроосажденным слоем	1,23	0,30
Алюминиевые облицовки, изготовленные точением	1	1
Алюминиевые облицовки, изготовленные по предлагаемому способу	1,29	0,57

Работа частично была поддержана грантом РФФИ 15-03-00691.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Минин И. В., Минин О. В. Кумулятивные заряды. – Новосибирск : СГГА, 2013. – 160 с.
2. Минин В. Ф., Минин И. В., Минин О. В. Физика гиперкумуляции и комбинированных кумулятивных зарядов. – Новосибирск : НИИЭП, 2013. – 275 с.
3. Минин В. Ф., Минин И. В., Минин О. В. Способ и устройство (варианты) формирования высокоскоростных кумулятивных струй для перфорации скважин с глубокими незапестованными каналами и с большим диаметром : пат. № 2412338 Российская Федерация, МПК E43/117, F42B1/02. ; заявл. 07.12.2009 ; опубл. 20.02.2011. – Бюл. № 5. – 46 с.
4. Способ изготовления кумулятивных облицовок / А. Б. Дронов, Е. Д. Павленко, А. В. Уцын, В. А. Маленичев, А. В. Чайников, С. В. Михайлин : патент № 2237849 Российская Федерация, МПК МПК F42B1/036, B21K 21/10, B21D 51/10; заявл. 03.03.2009; опубл. 10.09.2010. –Бюл. № 25.
5. Владыкин Э. И., Курепин А. Е., Семин В. А. Способ изготовления осесимметричной облицовки кумулятивного заряда : патент № 2180723 Российская Федерация, МПК B21D 22/14, F42B 1/036, F42B 10/36, заявл 05.10.2000; опубл. 20.03.2002. – Бюл. № 27.
6. Кумулятивный заряд с биметаллической облицовкой и способ ее изготовления / В. Г. Смеликов, В. М. Базилевич, И. Г. Воропаев, А. П. Карабанов : патент № 2151362 Российская Федерация, МПК F42B1/032, F42B1/036, заявл. 23.04.1999; опубл. 20.06.2000. – Бюл. № 26.
7. Avigdor Hetz, Clarence W. Wendt, John D. Loehr. Injection molded shaped charge liner. МПК F42B1/02, Пат. США № 7581498; заявл. 23.08.2005; опубл. 01.09.2009.

Получено 15.09.2016

© В. Ф. Минин, О. В. Минин, И. В. Минин, 2016

## TECHNOLOGY OF SHAPED CHARGE ANISOTROPIC LINER MANUFACTURING

### *Vladilen F. Minin*

D. Sc., Professor, USSR State Prize Laureate, Academician of the Russian Federation of ATH, e-mail: prof.minin@gmail.com

### *Oleg V. Minin*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., D. Sc., Professor, Head of Department of metrology and Technology of Optical Devices, e-mail: kaf.metrol@snga.ru

### *Igor V. Minin*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., D. Sc., Professor, Department of Metrology and Technology of Optical Devices, e-mail: prof.minin@gmail.com

The work is devoted to the technique of shaped charges, in particular for the manufacture of cumulative liner technologies that can be used in punching technique when shooting-blasting in oil or combatant shells or missiles. The method of manufacturing an anisotropic liner shaped charge is described. Thus as the cumulative liner material used mainly copper or copper-based alloys, aluminum or aluminum-based alloys, iron or iron-based alloys.

**Key words:** shaped charge jet, shaped charge, shaped charge liner, anisotropy, technology, penetration.

## REFERENCES

1. Minin, I. V., & Minin, O. V. (2013). *Kumulyativnye zaryady [Shaped charges]*. Novosibirsk: SSUGT [in Russian].
2. Minin, V. F., Minin, I. V., & Minin, O. V. (2013). *Fizika giperkumulyatsii i kombinirovannykh kumulyativnykh zaryadov [Physics of hypercumulation and combined shaped charges]*. Novosibirsk: NIIEP [in Russian].
3. Minin, V. F., Minin, I. V., & Minin, O. V. (2011). Patent RF No 2412338, E43/117, F42B1/02. Novosibirsk: IP Russian Federation [in Russian].
4. Dronov, A. B., Pavlenko, E. D., Utsin, A. V., Malenichev, V. A., Chainikov, A. V., & Mikhailin, S. V. (2010). Patent RF № 2237849, F42B1/036, B21K 21/10, B21D 51/10. IP Russian Federation [in Russian].
5. Vladikin, E. I., Kurepin, A. E., Semin, V. A. (2002). Patent RF № 2180723, B21D 22/14, F42B 1/036, F42B 10/36. IP Russian Federation [in Russian].
6. Smelikov, V. G., Bazilevich, V. M., Voropaev, I. G., Karabanov, A. P. (2000). Patent RF № 2151362, F42B1/032, F42B1/036. IP Russian Federation [in Russian].
7. Avigdor Hetz, Clarence W. Wendt, & John D. Loehr. (2009). Patent USA № 7581498. IP USA.

Received 15.09.2016

© V. F. Minin, O. V. Minin, I. V. Minin, 2016