

УДК 623.455.1

© Демин А. А., Титов И. А.
Demin A., Titov I.

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОНИКАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ СТАЛЬНЫХ СЕРДЕЧНИКОВ
ТЕРМИЧЕСКИМ РАЗУПРОЧНЕНИЕМ**

INCREASED PENETRATION OF STEEL CORES THERMAL SOFTENING

Аннотация. Приводятся результаты численных и экспериментальных исследований, определяющих эффективность и область применения термического разупрочнения стальных деформируемых сердечников для повышения их проникающего действия.

Annotation. The results of numerical and experimental studies that determine the effectiveness and scope of the thermal softening of deformed steel cores to increase their penetrating.

Ключевые слова. Сердечник, самозатачивание, проникание, разупрочнение.

Key words. Core, self-sharpening, penetration, softening.

При внедрении сердечника и движении его внутри преграды происходит изменение формы головной части, ведущее к увеличению площади поперечного сечения и, как следствие, к снижению проникающего действия. Для устранения этого негативного фактора в боеприпасах США используется обедненный уран. Во время пробития преграды создаются зоны так называемого облатионного среза, по которым сердечник послойно «срабатывается» (самозатачивается), проходя через броню.

Подобный эффект можно получить, создав в поверхностном слое стального сердечника градиентное снижение механических характеристик в направлении от оси сердечника к периферии [1]. Технологически реализовать данный эффект возможно либо обезуглероживанием поверхностного слоя, либо разупрочняющим нагревом токами высокой частоты (ТВЧ) поверхности предварительно закаленного сердечника [2]. Доступность данной технологии позволяет применить ее для повышения проникающей способности как сердечников пуль стрелкового оружия, так и крепежных элементов в скальных породах и строительно-монтажных дюбелей.

Проведенные экспериментальные исследования [2] показали, что проникающая способность термически разупрочненных сердечников зависит от величины градиента снижения твердости сердечника в поверхностном слое, а также от формы и скорости сердечника при встрече с преградой. Для определения значения этих па-

раметров, при которых эффект самозатачивания будет проявляться наиболее значимо, проведены численные исследования, результаты которых представлены в данной работе.

Следует отметить, что на данный момент не существует аналитических зависимостей, позволяющих учесть анизотропию механических свойств поверхностного слоя сердечника при определении глубины проникания. Поэтому было проведено компьютерное моделирование в конечно-элементной программе, использующей явный метод решения и учитывающей нелинейные свойства материала, а также инерционные нагрузки.

Результаты, полученные при численном моделировании, показывают (рис. 1), что повышение глубины проникания при увеличении скорости соударения разупрочненного сердечника по сравнению с равнопрочным

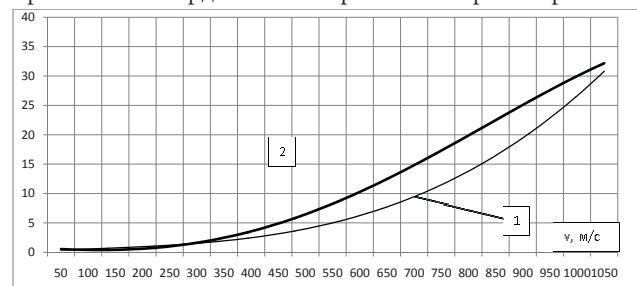


Рис. 1. График зависимости глубины h проникания от скорости v соударения:

- 1 — изотропный сердечник;
- 2 — анизотропный (самозатачивающийся) сердечник

Демин Андрей Александрович – аспирант БТИ АлтГТУ им. И. И. Ползунова, тел. 8-913-364-94-57;

Титов Игорь Анатольевич – кандидат технических наук, профессор кафедры РДВУАС БТИ АлтГТУ им. И. И. Ползунова, тел. (3854) 43-53-04.

Demin Andrey – P.G. BTI AltSTU them. I.Polzunov, tel. 8-913-364-94-57;

Titov Igor – Ph.D., BTI AltSTU them. I. I. Polzunov. tel: (3854) 43 53 04.

сердечником начинается только со скорости, при которой во время удара разупрочненный сердечник получает деформации, разрушающие его поверхностный слой. Однако увеличение глубины проникания происходит до скорости, не превышающей определенный предел, для каждого материала он свой. При такой предельной скорости соударения, когда локальное давление становится выше предела прочности на порядок и на начальной стадии удара соударяющиеся тела ведут себя как жидкости, увеличение глубины проникания не происходит. Глубина проникания разупрочненных сердечников значительно увеличивается по сравнению с изотропными сердечниками лишь при скоростях соударения до 950 м/с, когда одним из основных факторов, препятствующих разрушению материала, является его прочность.

При внедрении сердечника в преграду конечной толщины, в квазистатических условиях, т. е. в таких условиях, когда можно пренебречь силами инерции, критерием оценки эффекта самозатачивания служила величина максимального усилия внедрения, которая измерялась на специально сконструированном для этого стенде. При этом эксперименты показали, что термически разупрочненные образцы с оживальной формой головной части, по сравнению с необработанными ТВЧ образцами, имеют усилие внедрения, примерно на 15% меньше.

Проведенные экспериментальные исследования с образцами (рис. 2), имеющими цилиндрическую, полусферическую и оживальную форму головной части показали, что эффект «самозатачивания» проявляется тем больше, чем менее совершенна в баллистическом отношении форма их головной части.

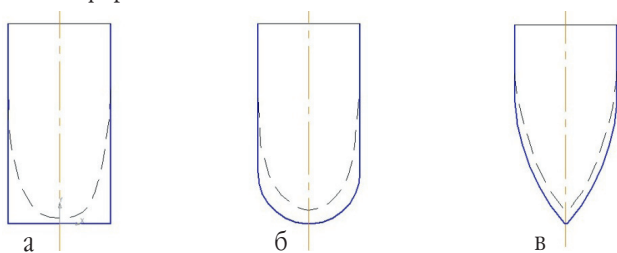


Рис. 2. Профили разупрочненных сердечников до и после соударения:

а – цилиндрический; б – полусферический; в – оживальный

То есть в процентном отношении глубина проникания сердечника до и после термообработки ТВЧ, имеющего затупленную головную часть, изменяется гораздо больше, и вместе с тем идет более интенсивный снос материала с его поверхности.

Помимо формы сердечника, большое влияние на эффект «самозатачивания» оказывает градиент распределения механических свойств материала и толщина по-

верхностного слоя, подвергнувшегося термическому разупрочнению.

Для сокращения количества физических экспериментов по определению оптимального распределения механических свойств материала сердечника производился предварительный расчет на основе результатов компьютерного моделирования (см. рис.3). При этом градиентное распределение механических свойств по сечению сердечника заменялось разделением поверхностного слоя сердечника на несколько слоев (от двух до пяти). Для каждого из слоев назначались характеристики материала с учетом увеличения твердости в каждом слое от поверхности сердечника к центру. Для описания поведения материала каждого из слоев использовалась изотропная кинематически упрочняющаяся билинейная модель [3].

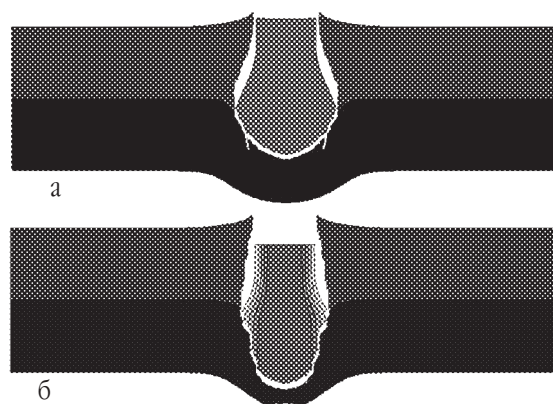


Рис. 3. Проникание сердечника в композитную преграду: а – закаленный сердечник; б – термически разупрочненный сердечник

Как показали проведенные эксперименты по внедрению строительно-монтажных дюбелей в стальную пластину (рис. 4), при начальном увеличении толщины разупрочненного слоя проникающая способность сначала увеличивается, а затем плавно снижается. При дальнейшем увеличении глубины разупрочненного слоя, происходит резкое снижение проникающего действия по отношению к сердечнику, обладающему исходными, изотропными свойствами материала.

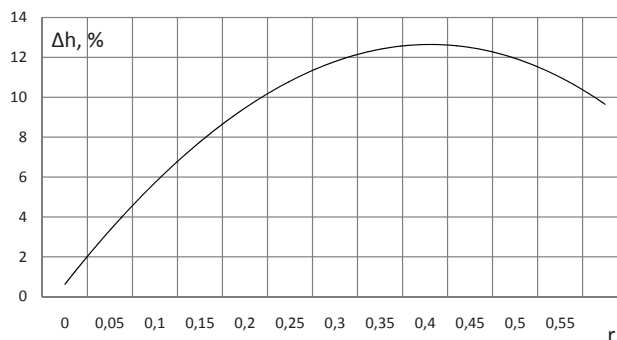


Рис. 4. График зависимости изменения глубины проникания Δh сердечника от толщины разупрочненного слоя r

Снижение проникающей способности можно объяснить тем, что при значительном термическом разупрочнении поперечная стойкость сердечника уменьшается, в результате чего сердечник испытывает дополнительные деформации разрушения.

В результате численных и экспериментальных исследований установлено, что оптимальной толщиной разупрочненного слоя является величина, приблизительно равная половине радиуса сердечника, а прочностные характеристики материала самого поверхностного слоя должны превышать прочностные характери-

стики материала преграды приблизительно в 1,3 раза с последующим их градиентным увеличением от периферии к центру сердечника.

Таким образом, проведенные исследования позволили выявить оптимальное распределение механических свойств материала сердечника при термическом разупрочнении. Это позволяет для каждого конкретного случая задавать такие режимы нагрева сердечника ТВЧ, при которых глубина внедрения будет максимальна, а затрачиваемая на внедрение энергия – минимальна.

Литература

1. Способ повышения проникающего действия термоупрочненных пульных сердечников из высокоуглеродистой стали, Казаков М.Б., Титов И.А., Верецагин П.В., Вагуценко Д.В., патент № 2210605 РФ МПК F42 В 12/04, 2003.
2. Пономарев В.А., Демин А.А., Титов И.А. Влияние нагрева токами высокой частоты на проникающее действие сердечников пуль стрелкового оружия // Вооружение. Технология. Безопасность. Управление [Текст]: материалы IV межотраслевой конференции с международным участием аспирантов и молодых ученых. В 3 ч. Ч.1. – Ковров: ГОУ ВПУ «КГТА им. В.А.Дегтярева». 2009. С. 68-71.
3. John O. Hallquist Material model3: Elastic Plastic with Kinematic Hardening // LS-DYNA Theoretical Manual - 2006. - С. 273-276.

Материал поступил в редакцию 12. 08. 2011 г.