

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН
НЕСТАБИЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ
КУМУЛЯТИВНЫХ ЗАРЯДОВ С
КАЛИБРОВАННЫМИ ОБЛИЦОВКАМИ.**

В.М. Фомин, Е.Я. Брагунцов

Институт теоретической и прикладной
механики им. С.А. Христиановича, СО РАН,
630090, Новосибирск

Для повышения точности в технологический процесс изготовления облицовок вводят операцию калибровки, она заключается в обжатии облицовки в прецизионно изготовленном калибровочном штампе со степенью деформации металла облицовки порядка 1-3%.

При калибровке устраняются такие "дефекты геометрии" облицовок как эллипсность, рупорообразность, разностенность, а также нелинейность профиля стенки облицовки. Кроме того, геометрические параметры облицовок становятся стабильными, т.е. одинаковыми для всех калиброванных облицовок.

Деформация металла в процессе калибровки незначительна (около 3%). Поэтому при разработке технологических процессов предполагалось целесообразным введение операции калибровки потому, что небольшая деформация металла в процессе калибровки облицовок отрицательного влияния на пробивное действие кумулятивных зарядов не окажет при существенном положительном эффекте от повышения точности изготовления.

Однако при соответствии облицовок требованиям чертежа известны частые и необъяснимые случаи снижения результатов испытаний, появления нестабильности пробивного действия кумулятивных зарядов и, как следствие, бракование партий изделий после испытаний.

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИССЛЕДОВАНИЙ

Основу измерительного комплекса для анализа изменений твердости материала составлял прибор HRI5T с нагрузкой до 150 Н. Характеристики прибора соответствуют требованиям ГОСТ 22975. Дополнительно разработано и изготовлено оригинальное приспособление к прибору «Супер-Роквелл», позволяющее измерять твёрдость на наружной поверхности, как по окружности, так и вдоль образующей облицовки без её разрушения.

Методы экспериментального исследования твердости конструкционных материалов облицовки являются наиболее предпочтительными в подобных случаях. Причины: показатели твердости удобны для регистрации, их распределение однозначно определяет характер деформационного упрочнения металлов. Кроме того, такой подход даёт представление об изменении и других механических свойств, влияющих на пробивное действие: пластичность, вязкость, прочность.

Для контроля изменений локальной твёрдости в определенных сечениях внутренней поверхности облицовки выполнялись вырезы в виде клиньев. Для проведения исследования была изготовлена партия облицовок из листовой меди марки М1. Технологический процесс изготовления включал вырубку заготовки из листа, пуклёвку, ротационное выдавливание, отжиг и калибровку внутренней поверхности. Ротационное выдавливание производилось на станке "КОНУС-1" с угловой скоростью вращения оправки 1350 об/мин и линейной скоростью подачи ролика 150-160 мм/мин. Для охлаждения применялось индустриальное масло.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ МЕДНЫХ ОБЛИЦОВОК ПРИ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИИ

Проведено измерение твёрдости вдоль образующей облицовки через каждые 5 мм на облицовках после следующих технологических операций:

- ротационного выдавливания;
- ротационного выдавливания и отжига;
- ротационного выдавливания, отжига и калибровки.

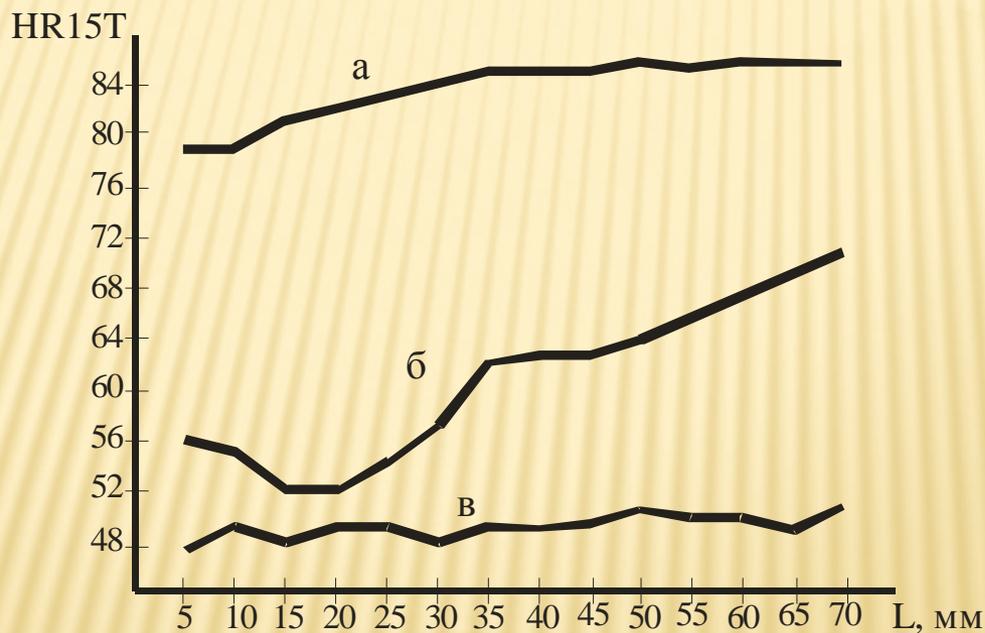
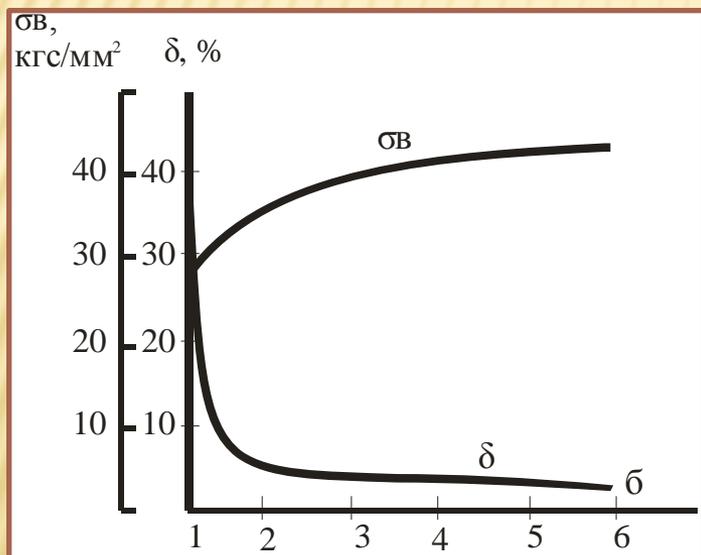


Рис.1. Распределение твердости материала вдоль образующей облицовки от ее основания к вершине (на кривых слева направо) после ротационного выдавливания (а), калибровки (б) и отжига (в)

Величина деформационного упрочнения при калибровке меньше, чем после ротационного выдавливания. Однако она непропорционально больше, чем можно было ожидать на первый взгляд исходя из малой степени деформации металла при калибровке ($\varepsilon = 3\%$), по сравнению с деформацией при ротационной вытяжке ($\varepsilon = 60\% - 70\%$). Малая пластическая деформация вызывает существенные изменения механических свойств металла.



Этот результат подтверждается данными, приведёнными в работе [3]. На рис. 2 приведен график изменения механических свойств прочности σ_B и пластичности δ в зависимости от степени пластической деформации меди ε взятый из работы [3].

Рис.2. Изменение предела прочности (σ_B) и относительного удлинения меди (δ) в зависимости от степени пластической деформации (ε)

Формирование неоднородности свойств при калибровке связано с неоднородностью деформации отожжённого металла в процессе калибровки. Поскольку наибольшие изменения свойств происходят при деформации металла 1,5-2,5% [3], то при небольших колебаниях деформации при калибровке в диапазоне 1-3% вызванных отклонениями в пределах полей допусков размеров облицовки от номинальных и отклонениями в пределах допусков профиля калибруемых облицовок от профиля калибровочного инструмента, формируется максимально возможная неоднородность свойств. Калибровка является своеобразным усилителем неоднородности свойств.

Облицовки после ротационного выдавливания и отжига имеют отклонения в пределах технологических допусков следующих геометрических параметров:

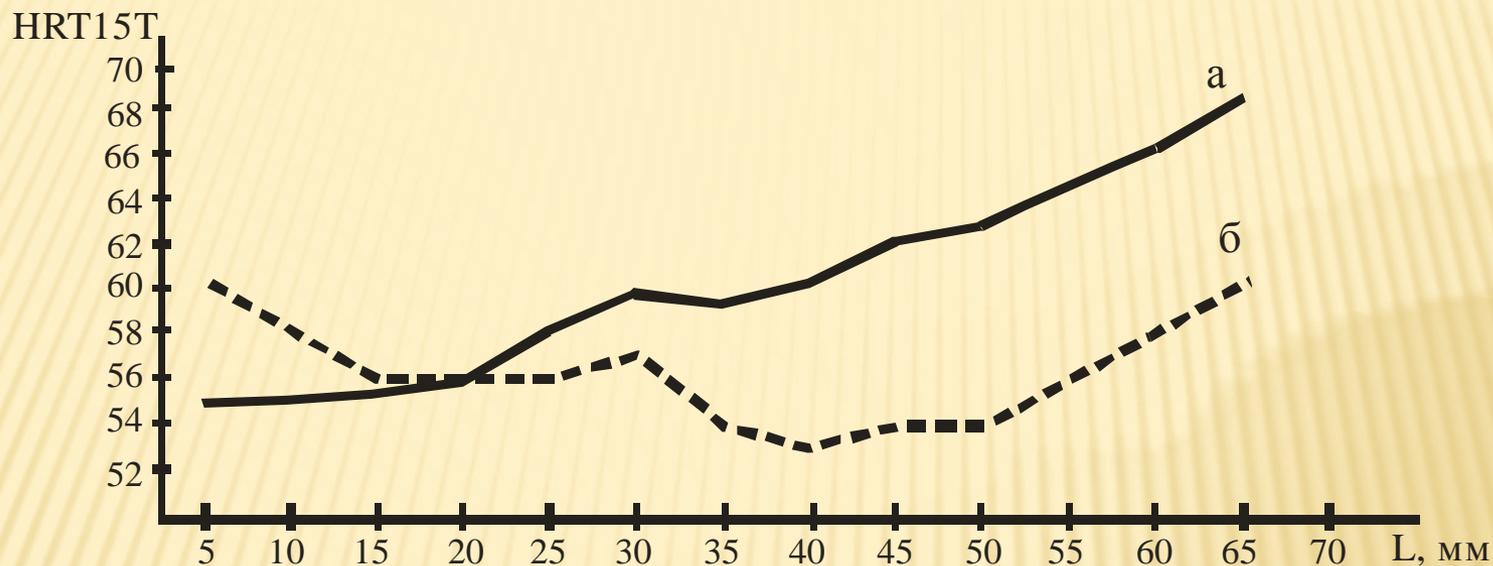
- эллипсности, рупорообразности;
- толщины стенки у различных облицовок;
- разнотолщинности в каждой отдельной облицовке;
- углов конусности внутренней и наружной поверхностей (профиль облицовки).

Проведено исследование влияния каждого из этих отклонений геометрических параметров на характер формирующегося при калибровке распределения твёрдости.

Влияние отклонений в пределах технологических допусков геометрических параметров облицовок на характер формирующегося при калибровке распределения механических свойств следующий:

- эллипсность, рупорообразность облицовок существенного влияния не оказывают;
- разнотолщинность в каждой отдельной облицовке является причиной появления асимметрии свойств;
- колебания толщины стенок у различных облицовок являются причиной нестабильности свойств;
- нелинейность профиля облицовки и несоответствие его профилю калибровочного инструмента меняет характер распределение свойств вдоль образующей.

Степень изменение механических свойств металла облицовки определяются величиной деформации металла неодинаковой в различных частях облицовки.



Распределение твердости материала вдоль образующей облицовки от ее основания к вершине (на кривых слева направо) после калибровки матрицами ШТ8-321-00 (а) и ШТ8-283-00 (б)

ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ФОРМИРУЮЩЕГОСЯ В ОБЛИЦОВКАХ ПРИ КАЛИБРОВКЕ НА ПРОБИВНОЕ ДЕЙСТВИЕ КУМУЛЯТИВНЫХ ЗАРЯДОВ

Для определения влияния деформационного упрочнения формирующегося в облицовках при калибровке на пробивное действие были изготовлены пять партий облицовок с одинаковой разнотолщиной 0,02 мм и разным припуском h на толщину стенки. Облицовки изготавливались ротационной вытяжкой с последующим отжигом и механической обработкой.

Припуск h обеспечивал одинаковую геометрию калиброванных облицовок при калибровке со следующими деформациями:

- $\varepsilon=1\% - 2\%$ ($h=0,01$);
- $\varepsilon=2\% - 4\%$ ($h=0,02$);
- $\varepsilon=3\% - 6\%$ ($h=0,03$);
- $\varepsilon=10\% - 20\%$ ($h=0,1$).

Кроме того, партия облицовок была взята без калибровки $\varepsilon=0\%$ ($h=0$).

Операция калибровки осуществлялась после механической обработки, применяемой, для того чтобы облицовки перед калибровкой имели одинаковые геометрические параметры. Облицовки имели прогрессивную толщину стенки, которая в контрольных точках составляла $t_1=0,5\text{мм}$, $t_2=1,0\text{мм}$.

Испытания облицовок на пробивное действие проводилось в заряде представляющем макет перфоратора диаметром 42 мм.

Расстояние от торца заряда до мишени из набора стальных плит составляло 130мм. Зависимость результатов испытаний кумулятивных зарядов от величины сдеформированного при калибровке слоя приведена на рис. 7.

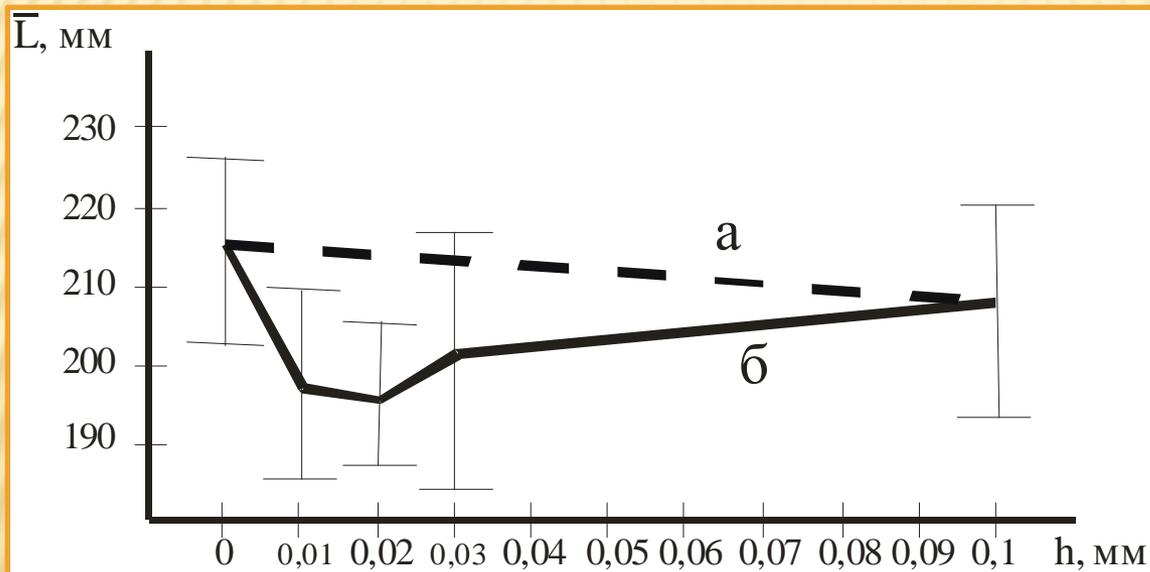


Рис.7. Зависимость глубины пробития мишени L от толщины деформированного слоя (припуска) h при наклепе (а) и калибровке (б).

Из проведённого исследования можно сделать вывод, что снижение пробития из-за асимметрии свойств после калибровки снижает пробивное действие зарядов, причём это снижение превышает снижение пробития из-за наклёпа (рис. 7, пунктирная линия).

Калибровка является причиной нестабильности пробития вследствие формирования в облицовках нестабильного несимметричного распределения свойств. Отрицательное влияние калибровки на пробивное действие кумулятивных зарядов происходит по двум механизмам. Один из них связан со снижением ресурса пластичности из-за деформационного упрочнения металлов, другой с несимметричностью обжатия из-за несимметрии распределения свойств металла. Отрицательное влияние асимметрии свойств сильнее, чем влияние деформационного упрочнения.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КАЛИБРОВКИ ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ФОРМИРОВАНИЕ СТАБИЛЬНОЙ «ГЕОМЕТРИИ» ОБЛИЦОВКИ И СТАБИЛЬНОЕ СИММЕТРИЧНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА

1. Наиболее эффективно устранение неоднородности и нестабильности свойств обеспечивается **сужением технологических допусков** перед калибровкой. Однако сужение технологических допусков требует увеличения трудоёмкости при наладке оборудования, изготовлении и контроле деталей.

2. В качестве метода устраняющего нестабильность свойств можно рассматривать метод, основанный на **повышении деформации металла**. Сущность его заключается в том, что калибровку необходимо производить таким образом, чтобы в любом локальном месте облицовки деформация металла гарантировано была бы не менее 3%

Действительно троекратная калибровка облицовки с её поворотом на 120° после каждой калибровки при большой суммарной степени деформации обжатия металла, стабилизирует пробивное действие, но на более низком уровне.

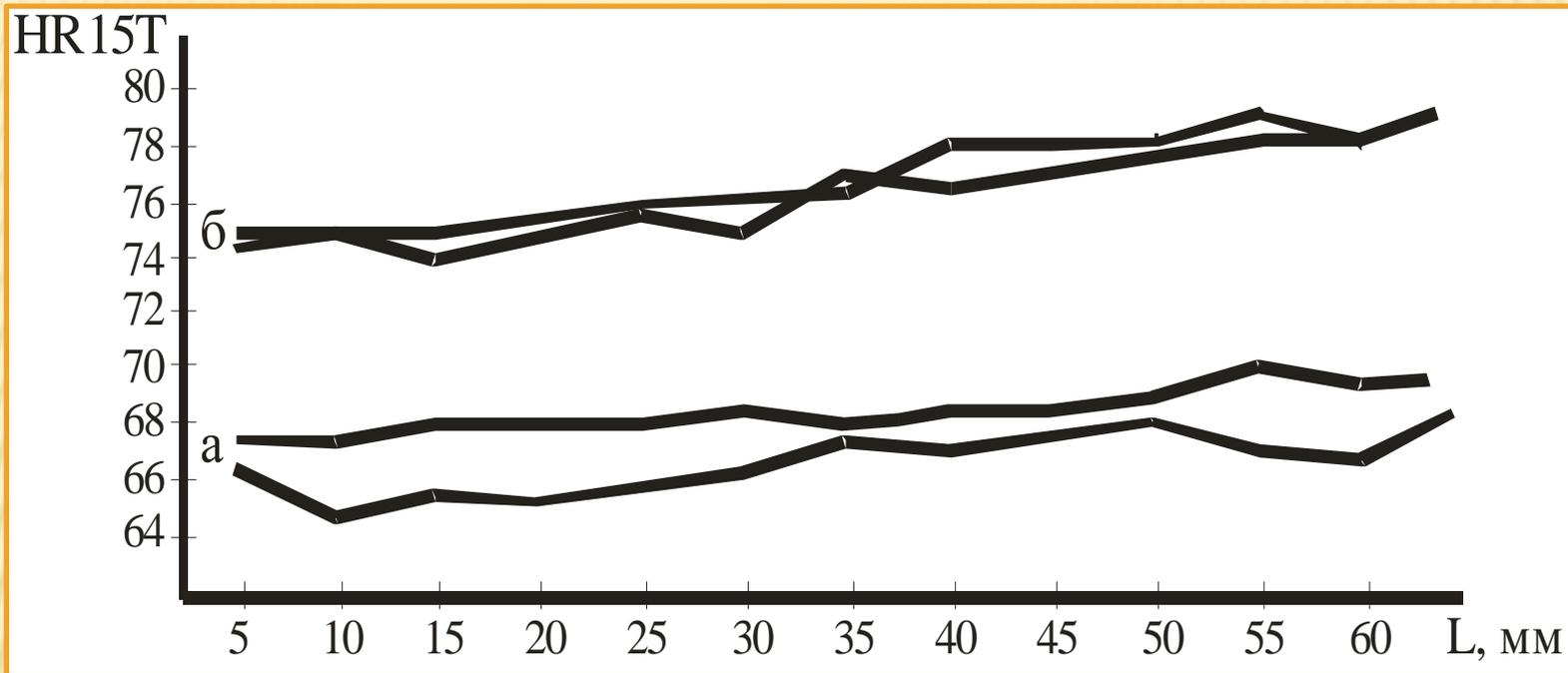


Рис.9. Распределение твердости материала вдоль образующей от ее основания к вершине (на кривых слева направо) для диаметрально противоположных сторон при калибровке тонких (а) и толстых (б) облицовок.

3. Калибровка в «мягкую» матрицу, например, резиновую или из полиуретана не снижает пробивного действия перфораторов, но не лишена недостатков. При такой калибровке устраняются не все "дефекты геометрии" облицовок, а только эллипсность и рупорообразность. Асимметрии свойств в облицовках после "правки" эллипсности и рупорообразности не возникает. Недостатки: низкая стойкость матрицы и отсутствие возможности устранения таких «дефектов геометрии» облицовок как разнотолщинность и нелинейность профиля стенки.

4. Метод «двойной» калибровки. При первой калибровке достигается также стабильность воспроизводства геометрических параметров облицовок. Последующий рекристаллизационный отжиг облицовок, стабильных по геометрическим параметрам, устраняет наклёп (микронапряжения, микроискажения кристаллической решётки) от предыдущих двух операций, связанных с деформированием металла. После термообработки деталь калибруется повторно для устранения поволоков. Поскольку профиль детали уже подогнан под калибровочный инструмент, применение ещё одной калибровки не нарушает симметрию свойств детали. Повторная калибровка облицовок, подогнанных под калибровочный инструмент в том же калибровочном инструменте, обеспечивает деформирование металла одновременно по всей поверхности, что формирует стабильный наклёп с симметричным линейным распределением твёрдости, следовательно и другими свойствами.

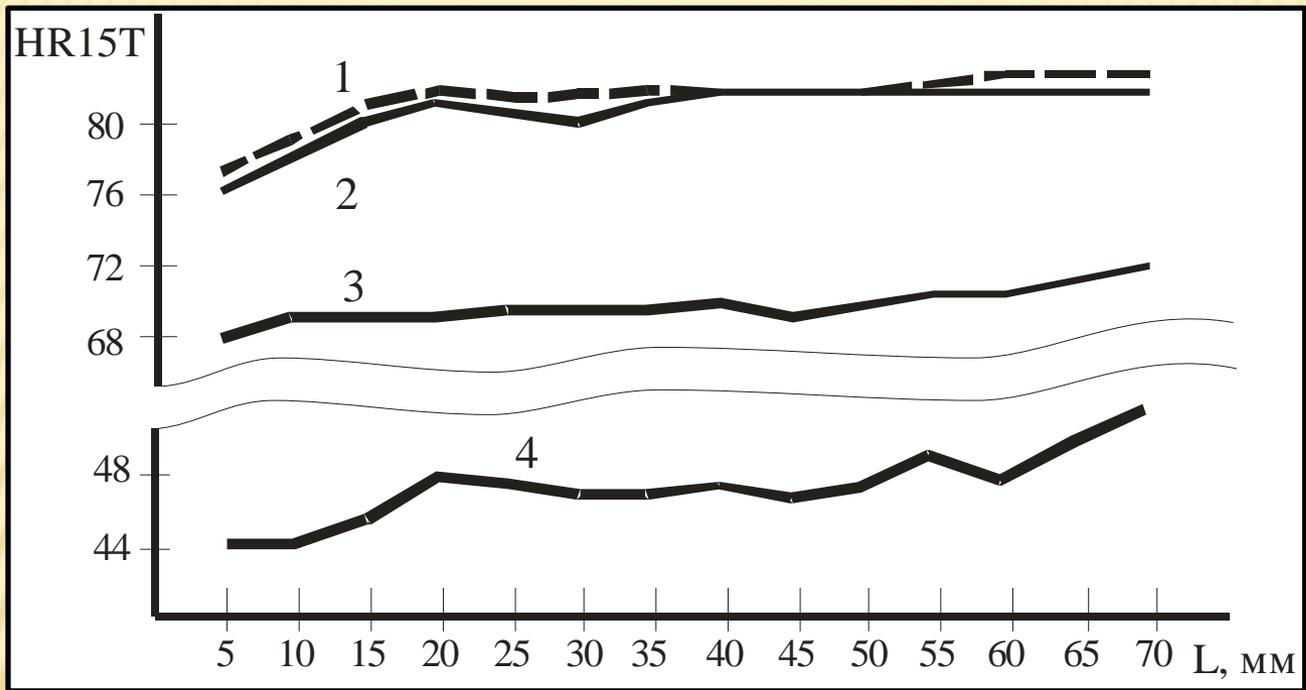


Рис.8. Твердость материала вдоль образующей облицовки от ее основания к вершине после: (1) раскатки; (2) первой калибровки; (3) второй калибровки; (4) промежуточного отжига.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что в процессе калибровки облицовок происходит существенное изменение механических свойств металла. Изменение свойств нестабильно и неоднородно. Причиной появления неоднородности и нестабильности является неоднородная деформация отожженного металла в процессе калибровки, обусловленная отклонениями в пределах допусков таких геометрических параметров облицовок как:

- толщина стенок,
- разнотолщинность в каждой облицовке,
- углы конусности внутренней и наружной поверхностей,
- нелинейность профиля стенки облицовки,
- несоответствием профиля калибруемых облицовок профилю калибровочного инструмента.

Отклонения толщины стенок облицовок являются причиной появления нестабильности свойств, разнотолщинность в каждой облицовке формирует несимметричное распределение свойств, нелинейность профиля стенки облицовки и несоответствие профиля калибруемых облицовок профилю калибровочного инструмента формирует неоднородное распределение свойств по длине облицовок.

2. Показано, что отрицательное влияние калибровки на пробивное действие кумулятивных зарядов происходит по двум механизмам. Один из них связан с деформационным упрочнением и снижением ресурса пластичности металлов, другой с несимметричностью обжатия из-за несимметрии распределения свойств металла. Отрицательное влияние асимметрии свойств сильнее, чем влияние деформационного упрочнения.

3. Разработан способ калибровки облицовок, устраняющий неоднородность и нестабильность свойств металла и отрицательное воздействие асимметрии свойств на пробивное действие, кумулятивных зарядов.

**Спасибо
за внимание**