

## ТЕХНОЛОГИЯ ЛИТЬЯ КОЛОКОЛОВ

Лесков М.Б.

Научный руководитель к.т.н. Синичкин А.М.

*Сибирский федеральный университет*

Впервые об отливке колоколов на Руси сообщается в Ипатьевской летописи. Это произошло в 1259 году, первое упоминание колокола на Руси датируется 1066 годом. Колокола пришли на Русь из Западной Европы и первыми литейщиками и учителями русских мастеров были итальянцы, потом (уже в XVI веке) немцы.

В 1475 году была открыта так называемая "Пушечная изба", которая потом выросла в Пушечный двор. Московский Пушечный двор был главным производителем качественных колоколов и полевой артиллерии в государстве на протяжении почти 300 лет. Еще он являлся, как сказали бы сейчас, "кузницей кадров" русских литейщиков.

Уже к концу XVI века литейщики Московского Пушечного двора по искусству литья колоколов и их весу превосходили и псковичей, и новгородцев (а позднее и западных учителей), и стали бесспорными лидерами в этом деле.

В конце XVI - XVII веках на Пушечном дворе работали мастера, составившие гордость отечественной колоколотейной истории: Андрей Чохов, Александр Григорьев, Даниловы, Моторины.

В XVIII-XIX веках колокола отливались на частных заводах и "колоколотейное дело было поставлено очень высоко, что объясняется огромным спросом" (Н. Оловянишников "История колоколов и колоколотейное искусство").

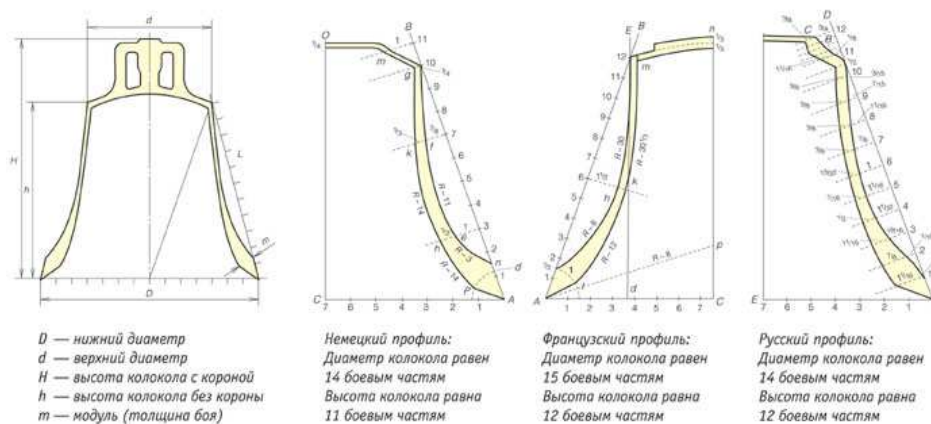


Рисунок 1 – Разные виды профиля колоколов

Колокол должен был обладать громким, звучным и чистым голосом, мелодичным и определенного тембра.

По мере развития техники литья увеличились размеры и масса колоколов. Литье колоколов стало своеобразной демонстрацией мощи.

Ранняя технология отливки колоколов и технология которая используется сейчас отличается только качеством используемой оснастки, материалов формовки и высоким уровнем научных исследований в области литья.

Технологический процесс начинается с того что выкладывали из обычного кирпича цоколь. В центре цоколя помещали деревянную стоку, к которой крепился временный шаблон для изготовления нижней части пустотелого болвана. Затем

шаблонную систему заменяли постоянной металлической для окончательной формовки болвана. Внутренняя полость болвана представляла собой топку, в которой сжигали дрова или уголь для сушки болвана. Последние слои болвана делали из песка и глины, разведенной на квасном сусле. Высушенный болван окрашивали смесью, состоящей из молотой золы, которую разводили в мыльной воде или пиве, а затем смазывали салом.

На готовый болван с помощью шаблона наносили глиняную рубашку - место будущего тела колокола. Рубашку подсушивали и покрывали составом, приготовленным из мыла, сала и воска. На обработанную поверхность наносили различные рельефные изображения: надписи, орнаменты, рисунки. Эти изображения готовили из смеси воска, канифоли, сурика и сажи.

Приготовленный болван служил в дальнейшем как бы моделью колокола. По нему готовили нижнюю опоку с каркасами и другими приспособлениями.

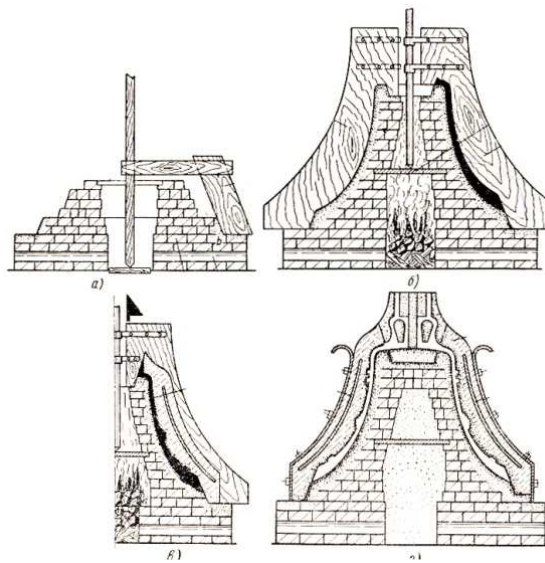


Рисунок 2 - Схема формовки колокола:

а — выкладка цоколя болвана стержня; б — формовка по шаблону стержня колокола и тела колокола; в—изготовление глиняной формы кожуха колокола; г— разрез собранной формы колокола.

После подсушки кожух снимали, удаляли глиняную рубашку, доделывали литниковую систему и другие элементы формы и окончательно собирали ее под заливку.

Заливка металла обычно происходила самотеком.

После затвердевания металла форму разрушали, отливку извлекали, очищали и производили отделочные работы - чеканили, шлифовали.

Прекрасно налаженное производство было уничтожено после революции. Возрождение колокольного литья началось в России в конце 80-х годов XX века. К настоящему времени уже не один десяток предприятий льет колокола, которые звонят в православных храмах не только России, но и во многих странах мира.

В 1990 году работники литейно-механического цеха Уральского алюминиевого завода: начальник литейного участка Николай Геннадьевич Пятков и старший технолог Модест Васильевич Ощуков, - решили попробовать отлить колокола для только-только открывшейся Покровской церкви. После первой же удачной отливки колоколов было решено учредить ЗАО "Пятков и К" в октябре 1991 года. 18 марта 2003 года был

построен и принят в эксплуатацию небольшой завод колокольного литья в керамику с объемом производства в 125 т в год.



Рисунок 3 – Болван и кожух (литье в керамику)

Для литья колоколов в керамическую форму используются основные формовочные материалы является:

- молотый кварц, поставляемый в трех фракциях: пыль (менее 0,1 мм), крупа (0,2 мм) и песок (0,3 - 0,6 мм).

- строительный гипс высоких марок (связующее для изготовления форм) является, замешивание производится вручную для рабочих поверхностей и с помощью бетономешалки для наполнения.

- обогащенный крупный песок. (для наполнения крупных форм)

- холодно-твердеющая смеси на той же кварцевой основе (изготовление стержней).

- натуральный воск (модельный выплавляемый материал)

Модели (фальшивые колокола) накатываются по шаблонам из того же строительного гипса и периодически обновляются. Для малых (до 40 кг) колоколов возможно изготовление постоянных моделей из чугуна.

Во избежание проблем с водородом и в целях экономии для приготовления сплава взамен катодной меди используется высококачественный медный лом А1-1 в кусках или брикетах из отожженной проволоки не тоньше 4 мм.

Раскисление сплава осуществляется фосфористой медью, чистовое рафинирование - аргоном.

Зачистка колоколов производится вручную пневмоинструментом и песком.

Нигде в мире колокола не достигли такого совершенства, как в России. Русские колокола поражают не только своей формой и искусством исполнения, но и красотой звука.

В настоящее время очень много фирм льют колокола но высокое качество звука (особенно крупные колокола, более 40 кг) достигают не все и возникают идеи «бархатистого звука», «медвежьего» колокола. Но исследования структуры отливки и по скорости распространения звука в металле.

Самый низкий тон колокола – это тон гудения. Принято, что высота этого тона рассчитывается по формуле Хладни:

$$F \sim T/D^2 \sqrt{E/\rho}$$

где:  $F$  – частота звучания,  $T$  – толщина,  $D$  – диаметр,  $E$  – модуль упругости (модуль Юнга),  $\rho$  – плотность (удельный вес) материала.

Произведение  $D^2\sqrt{E/\rho}$  находится в знаменателе. Чем ниже значение плотности  $\rho$ , тем больше значение дроби  $E/\rho$ , а отсюда и всего квадратного корня. Значит и весь знаменатель количественно больше. А если больше знаменатель, то искомое численное значение частоты  $F$  ниже. Ниже приводим фото «губчатого» разреза как-раз типичного современного «низкого» колокола, что выдается за достоинство. Да, частота (или нота) тона гудения такого колокола при одних размерах ниже нормального, но это вовсе не из-за толстых стенок, а из-за меньшей плотности  $\rho$ . Нетрудно прикинуть, что при сочетании «металл-воздух» в сплаве 50х50% частота тона уменьшается в 1,4 раза ( $\sqrt{2}$ ) в сравнении с нормальным колоколом, а это почти половина октавы.

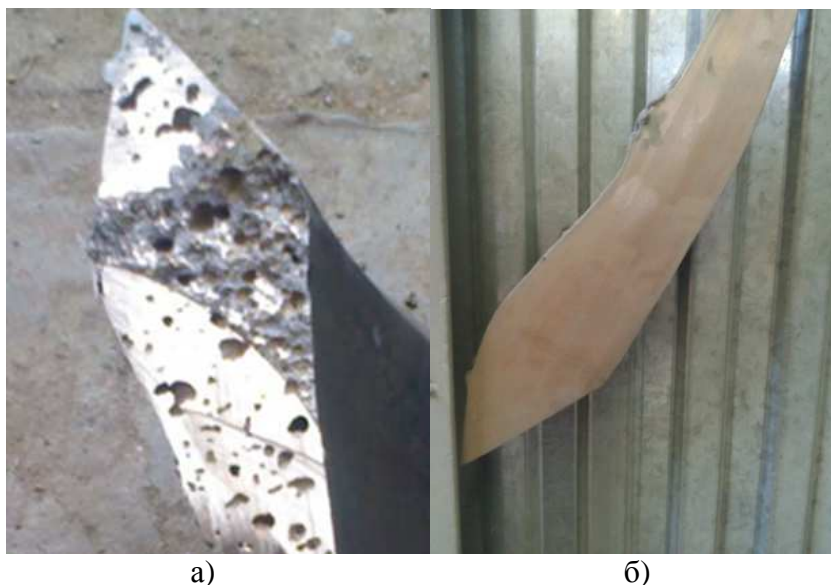


Рисунок 4 – а) Разрез колокола с «медвежьим» звоном («губчатый» разрез), б) Разрез колокола с хорошо сваренным металлом (соблюдение правил металлургии)

Достичь необходимых первичных акустических свойств колокола можно только при однородном, плотном по всему объему сплаве и скорости распространения звука в металле, близкой к 4.800 м/сек. Тупые («низкого тембра») колокола современного литья демонстрируют нам отсылы 4.300 м/сек. В XIX-м, но и в XVIII-м веках русские литейщики достигали большего.

Колокол без диапазона нельзя назвать колоколом. Правильный колокол – это небольшой «оркестр» - почти струнный квинтет. Рассмотрим звучание колокола весом где-то в районе одной тонны. На фоне 2 – 3 минутного затухающего и слышимого за километр «контрабаса» в малой октаве звучит 8 – 10-секундная «виолончель» в первой, которую в той же в первой октаве поддерживают две равные ей по громкости «скрипки-альта», и наконец во второй октаве – самая громкая (ведь удар приходится как-раз в ее зону, в юбку), но относительно короткая (4 – 6 секунд) «скрипка-пикколо».

Законы физики таковы, что при одинаковой исходной силе звука громкость на расстоянии, которая зависит от частоты, максимальна в районе 700 Гц, т.е. в районе второй октавы. Обертон в первой и второй октавах и слышны за пять, а то и за десять километров. Нет обертонов – нет требуемой громкости и дальности слышимости.

Благодарю Николая Геннадьевича Пяткова за любезно предоставленные материалы и обсуждения.