

Министерство образования и науки Украины
Одесский национальный политехнический университет

МАТЕРИАЛЫ

IX международной конференции
**“ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА
И ЭКОНОМИЧНОСТИ ЛИТЕЙНЫХ
ПРОЦЕССОВ”**

7 – 9 сентября 2005 г.

Одесса

Материалы IX международной конференции “Пути повышения качества и экономичности литейных процессов”; 7 – 9 сентября 2005 г., г. Одесса, Украина. — Одесса, 2004. — 80 с.

<i>Кострова Г.В., Бондарь А.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ОТЛИВОК С ТОНКИМИ ПОЛОСТЯМИ	54
<i>Блюхер Б., Колотило Д.М., Кучер А.Н.</i> ИСТОЧНИКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ВРЕДНОСТЕЙ ПРИ ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ	56
<i>Иванова Л.А., Прокопович Л.В.</i> ВОЗМОЖНОСТЬ АДАПТАЦИИ EICHORNIA CRASSIPES В ЛИТЕЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ.....	57
<i>Доценко В.П.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОТЛИВОК НА ОСНОВЕ Fe-Cr-C СПЛАВОВ.....	59
<i>Киданова Н.В., Нечаев В.Е.</i> МЕХАНИЗМ ПЛАЗМЕННОГО УПРОЧНЕНИЯ ЖИДКОСТЕКОВЫХ ФОРМ	60
<i>Афтандилянц Е.Г., Афтандилянц В.В.</i> ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ТЕМПЕРАТУРЫ НА СВОЙСТВА ЖИДКОГО МЕТАЛЛА.....	61
<i>Малых С.В., Радинский А.А.</i> ВОЗМОЖНОСТИ ЛИЗИНГА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	63
<i>Радко Радев, Кучер А.Н., Корнюк А.В.</i> ПРОЦЕССЫ ШЛИКЕРООБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ РЕЛЬЕФНЫХ ОТЛИВОК	64
<i>Прокопович О.И., Морозов Ю.А., Прокопович И.В., Колесникова Е.В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ЛИТЬЕ МЕДИ	66
<i>Саитов В.И., Савельева Е.В.</i> ФОРМИРОВАНИЕ ВОСКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЮВЕЛИРНЫХ ОТЛИВОК	71

обработки до 1100 °С, в период которой окончательное соотношение различных видов пористости определяет конкретные условия для заливки форм расплавом.

Для получения сложных винтообразных поверхностей, например, компрессорного винта насоса шликерная технология позволяет формировать тонкостенные оболочки ($\delta = 5$ мм) с закрытой пористостью, не превышает 5 %, что практически при прогреве стенки формы гарантирует отсутствие пороков газового происхождения в отливке по вине формы.

Применительно к художественному литью процесс шликерообразования представил интерес в двух планах. Формирование оболочек из армирующего материала, пропитанного водным шликером, резиновой колодкой по модели самого сложного профиля с последующей их термообработкой, а так же возможность использования шликеров из термопластичных материалов.

Разработанная технология литья в керамические формы проходит апробацию при получении точнолитых элементов пресс-форм для литья под давлением. Практическая значимость предложенных технических решений в процессе освоения данного метода литья определялась по методу оценки конкурентоспособности.

Литература

1. Л.А. Иванова и др. Авторское свидетельство. Способ получения полых биметаллических изделий. № 4653976, 13.10.1992 г.
2. Ю.Г. Пивинский, А.Г. Ромашин. Кварцевая керамика. М.: Металлургия, 1974.
3. Радко Радев. Научно-технический отчет "Влияние внешнего воздействия на структуру шликерной керамики." Варна, ВТУ, 1998 г.

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ЛИТЬЕ МЕДИ

Прокопович О.И., Морозов Ю.А., Прокопович И.В., Колесникова Е.В.

Одес. нац. политехн. унт

При непрерывном литье меди для нужд кабельного производства катанку получают на многоручьевых литейных машинах в виде бесконечного слитка постоянного сечения при прохождении расплава через узел кристаллизатор-охладитель (рис. 1) [1, 2]. Качество получаемого слитка, определяется кристаллической структурой и зависит от тепловых воздействий, которые он претерпел в зонах охлаждения. Температура поверхности стренги, как показали исследования, является косвенным параметром качества слитка [3] и зависит от скорости литья, температуры и расхода охлаждающей жидкости.

Принципиальная схема организации замеров температуры, расхода воды и скорости литья на одной стренге представлена на рис. 2.

Для контроля температуры поверхности катанки на выходе стренг из вторичных охладителей 16-ручьевой машины непрерывного литья установлены бесконтактные инфракрасные пирометры (ИК-пирометры) для обеспечения максимально точного измерения температуры поверхности без возможного влияния температуры окружающей



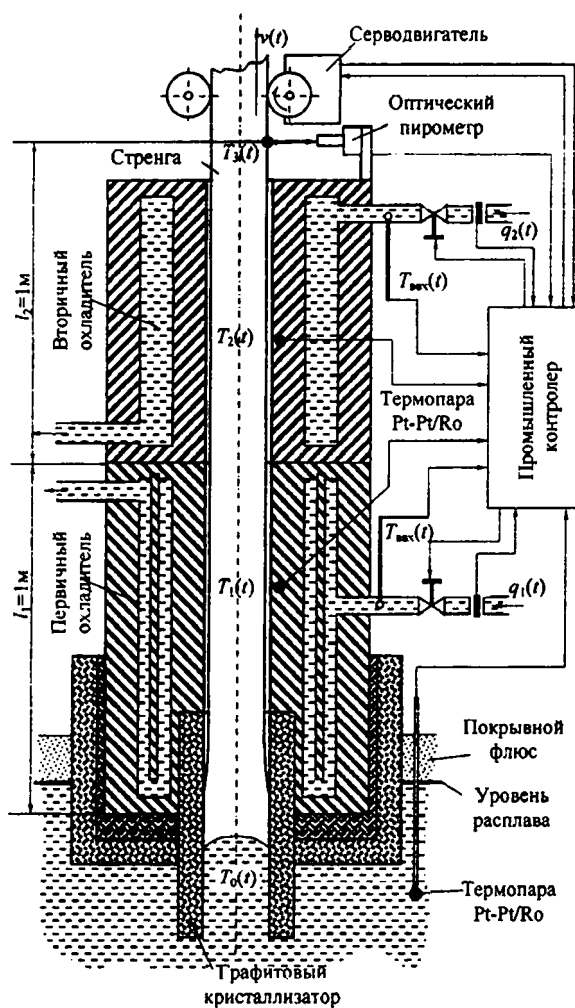


Рис. 1. Блок "кристаллизатор-охладитель"

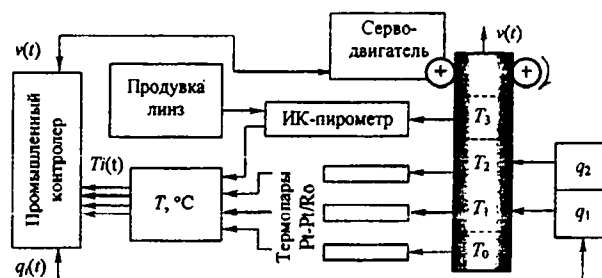


Рис. 2. Организация замеров температуры, расхода воды и скорости литья на одной струнге

среды. В силу повышенной запыленности воздуха рабочей зоны, к линзам пирометров предусмотрен подвод сжатого воздуха для очистки продувкой. ИК-пирометр имеет выходной сигнал, соответствующий характеристике стандартной термопары J -типа (железо-константан) в диапазоне температур – 18...1200 °С. Данные передаются в специальный блок контроллера, где переводятся в цифровой вид для дальнейшей интерпретации и занесения в базу данных. Время стробирования для всех пирометров составляло 2 с.

Температуру поверхности катанки находящейся в охладителях снимают при помощи платина-платинородиевых (Pt-Pt/Ro) термопар, которые вмонтированы в стенки охладителей. Температуру расплава постоянно измеряют такой же термопарой. Темпера-

туру охлаждающей жидкости на входе измеряют при помощи биметаллических термометров, расход воды контролируют при помощи поплавковых расходомеров изменяя электромагнитными задвижками. Скорость литья по технологическим осям изменяется в зависимости от параметров процесса путем регулировки вращения серводвигателей.

Моделирование процессов теплообмена в кристаллизаторе-охладителе позволяет выбрать оптимальные режимы управления процессом литья [2, 4, 5]. В современных литейных машинах вертикального непрерывного литья конструктивно обычно предусмотрено две зоны охлаждения: в первичном охладителе происходит снятие теплоты перегрева, кристаллизация расплава по всему сечению и начальное охлаждение слитка; во вторичном охладителе слиток претерпевает рекристаллизацию и охлаждается до температур, при которых не происходит окисление его поверхности. Каждая зона охлаждения характеризуется температурой $T_i(t)$, протяженностью l_i и расходом охлаждающей воды $q_i(t)$. Медь поступает в кристаллизатор с температурой $T_0(t)$, называемой температурой литья, со скоростью равной скорости литья $v(t)$. После кристаллизации струнга характеризуется плотностью ρ_c , удельной теплоемкостью C_{ci} и поперечным сечением S_c . Охлаждающая жидкость характеризуется температурой $T_{ввх}$ и удельной теплоемкостью $C_{ввх}$ на входе.

Структура модели представлены на рис. 3. Результаты моделирования, полученные из модели [5], сравнивались с экспериментальными данными, полученными при замерах температуры поверхности струнг опытной установки [1].



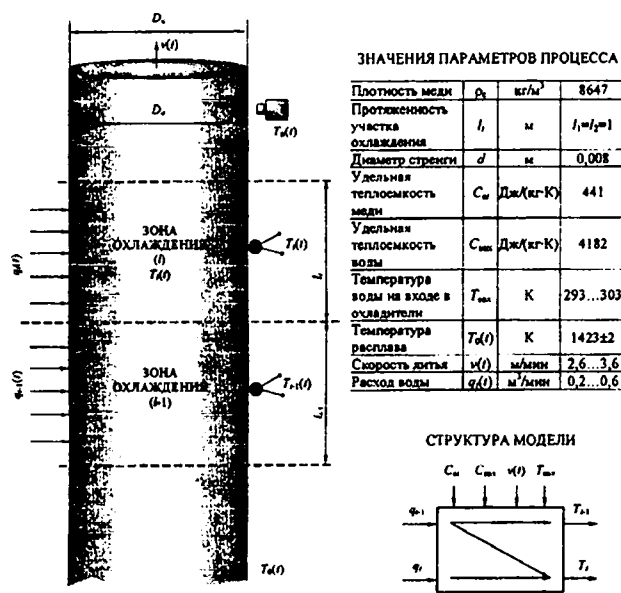


Рис. 3. Структура модели и постоянные процесса

На рис. 4 представлены расчетная графическая зависимость распределения температуры по длине стренги (кривая 1) и изменения температуры на выходе из литейной машины (кривая 4), в первичном (кривая 2) и вторичном (кривая 3) охладителях в течении одной минуты от момента запуска установки. Моделирование распределения температуры по длине стренги 1 и снятие действительных температур проводились при скорости литья 3,0 м/мин, расходе охлаждающей воды в первичном и вторичном охладителях 2,4 м³/мин с температурой 25 °С. Температура поверхности стренги внутри охладителей измерялась при помощи зачеканиных в них Pt-Pt/Ro-термопар (точки T1 и T2, см. рисунок 1) с шагом стробирования 2 с. Температура поверхности стренги на выходе из вторичного охладителя измерялась с той же частотой оптическим пирометром (точка T3, см. рисунок 1). Погрешности измерений температур у термопар составляли ±1 °С, у оптического пирометра — ±2 °С. Как видно из графиков через 10 с от начала литья температура в точке T1 стабилизируется на значении 378 °С (кривая 2) это соответствует расчетной температуре в центре первой зоны охлаждения. Через 30 с температура в точке T2 стабилизируется на значении 118 °С (кривая 3), что соответствует расчетной температуре в центре второй зоны охлаждения. Через 40 с температура поверхности стренги на выходе из литейной машины стабилизируется на значении 79 °С, что также хорошо соотносится с результатами моделирования. Полученные результаты дают возможность говорить об адекватности моделирования и о возможности применения полученной модели для управления процессом кристаллизации, опираясь на температуру поверхности стренги как на косвенный показатель качества.

Зона оптимальных температур поверхности стренги на выходе из вторичного охладителя находится в интервале 50...80 °С [3]. Оптимизируя расход воды в первичных и вторичных охладителях и скорость литья можно достичь необходимой темпера-

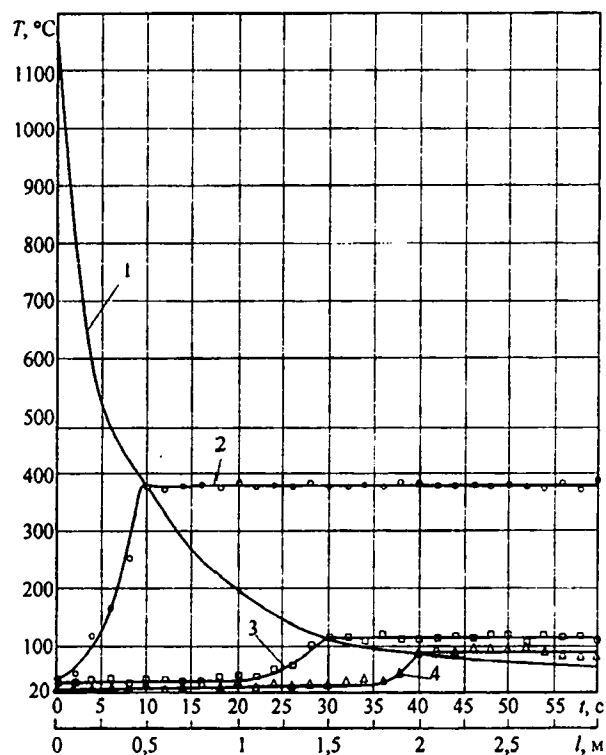


Рис. 4. Расчетное распределение температуры по длине стренги (1) и действительные изменения температур поверхности стренги в первичном (2), вторичном (3) охладителях и на выходе из литейной машины (4) от момента начала литья

туры поверхности, а поддержание ее в автоматическом режиме существенно повысит производительность процесса и качество получаемой катанки.

В настоящее время для компенсации изменений скорости литья методом линейного и стационарного упреждающего регулирования используется схема управления, изображенная на рис. 5, где $q_0(t)$ — минимально допустимый расход охлаждающей воды [6, 7].

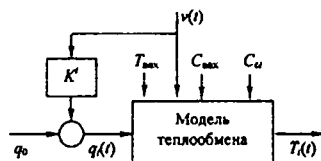


Рис. 5. Традиционная схема управления процессом теплообмена

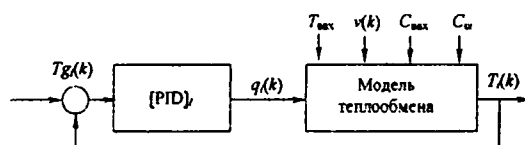


Рис. 6. Структура управления с применением PID-регулятора

Этот метод управления реализует принципы линейной системы управления без обратной связи через непосредственное управление вводом. В этом случае неизбежно происходит статическая ошибка, которая не позволяет оптимизировать процесс и стабилизировать качество продукта.

Для уменьшения вероятности ошибки предлагается применить схему управления с обратной связью. На рис. 6 представлена структура управления при помощи пропорционально-интегрально-дифференциального цифрового управления (PID-регулирование) с обратной связью.

PID-регулятор позволит добиться стабилизации в замкнутом контуре управления с обратной связью посредством оптимальной настройки управляющих воздействий по PID закону регулирования. Входным параметром является расход охлаждающей воды $q_i(k)$. Эталонной моделью является система второго порядка, представленная на структурной схеме (рис. 7), где $r_i(k)$ — граничное вводное значение для эталонной модели. Коэффициенты β_i и λ_i заданы таким образом, чтобы обеспечивать нахождение полей в пределах заданного круга величин и характеризовать тип отклика, полученного процессом. Выбранная эталонная модель является асимптотически стабильной, предполагая, что ошибка слежения стремиться к нулю.

Подходящие значения коэффициентов λ_i и β_i были получены в процессе моделирования при оптимизации работы замкнутой системы в соответствии с шаговыми изменениями величины $r_i(k)$.

Оптимальные значения PID-регулирования с изменениями скорости литья результативались в нахождении предела стабильности замкнутой системы для теплообмена, характеризующегося изменениями параметров C_{ci} , C_{vbx} и T_{vbx} .

Рассмотрим итеративную систему определения весов параметров в нейронной сети, работающую в масштабах реального времени. Управляющее воздействие (вход)

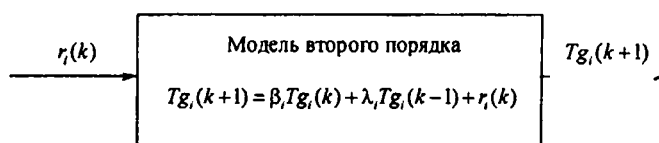


Рис. 7. Структура эталонной модели

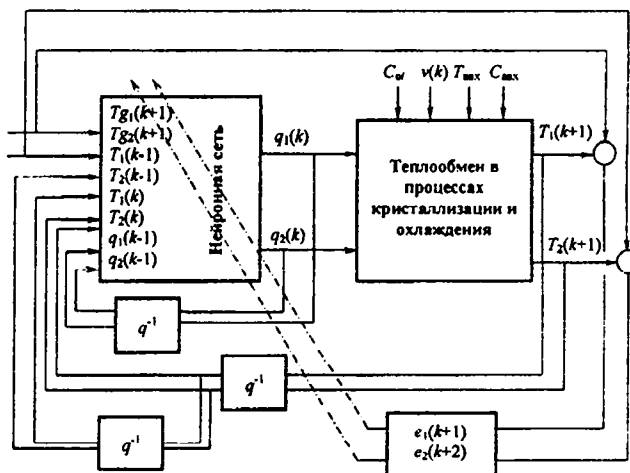


Рис. 8. Общая структура нейронной сети по управлению температурой



рассчитывается таким образом, чтобы достичь желаемого выхода процесса в соответствии с отслеживаемым опорным (эталонным) сигналом. Нейронная сеть используется для управления моделью теплообмена, т.е. температурой поверхности стренги. Общая структура определения и управления в нейронной сети представлена на рис. 8.

В широко применяемую многоуровневую систему ввода вводятся выход последнего процесса, измеренные возмущающие воздействия, текущий управляющий ввод и управляющий ввод последнего (предыдущего) процесса. Сначала, на входе нейронная сеть определяет инверсную модель процесса. Веса сети инициализируются случайными значениями. Эти веса используются нейронной сетью для расчета выходов процесса. Сеть обучается таким образом, чтобы генерировать соответствующие веса для уменьшения ошибки. После конвергенции нескольких итераций, полученные сетью веса, используются для вывода закона управляющего воздействия.

Для каждой зоны охлаждения входными параметрами сети являются $[T_i(k-1), T_i(k-2), q_i(k-1), q_i(k-2), v(k-1), v(k-2)]$. Выходным же является параметр $T_i(k)$.

Целью управляющей системы является поддержание температуры поверхности стренг на желаемом уровне, определенном оптимальными условиями работы. Эталонная модель выбирает из траектории динамику значения контрольной точки (уставки).

Управляющая схема (рис. 7) используется для выведения закона регулирования, исходя из весов, полученных в процессе идентификации. Для каждой контролируемой температурной зоны управляющий закон минимизирует ошибку слежения. Для гарантированного получения нулевого ошибочного сигнала, управляющие входы определяются обученной нейронной сетью.

В сравнении с PID-регулятором НС контроллер дает улучшенные результаты стабильности температуры поверхности стренг и понижение ошибки слежения.

Использование стратегии управления и определения значимости параметров посредством определения весов в НС позволило создать робастный алгоритм и стабилизировать температуру поверхности стренг в сравнении с традиционной замкнутой системой с обратной связью управляемой PID-регулятором.

Результаты модельных испытаний разработанной НС показывают, что предлагаемый НС-контроллер обеспечивает достаточное качество регулирования при изменении параметров процесса, влекущих за собой изменения тепловой нагрузки в литейной машине и в ходе охлаждения стренг. При этом колебания температуры поверхности стренг значительно ниже, чем при традиционной схеме управления, когда существуют серьезные ошибки слежения.

В настоящее время рассматривается возможность внедрения данной системы управления в режиме реального времени на предприятии ОАО "Одескабель". Описанный принцип управления с обратной связью при постоянных измерениях температуры поверхности стренг в зонах охлаждения позволяет стабилизировать качество катанки тем самым улучшить ее способность к дальнейшему переделу.

Литература

1. Прокопович О.И. Автоматизация производства высококачественной катанки для изготовления проводов сверхтонких сечений / Прокопович О.И., Прокопович И.В., Гогунский В.Д. // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 2002. Спецвыпуск. — С. 68 — 71.
2. Прокопович О.И. Моделирование процессов кристаллизации при непрерывном литье меди / Прокопович О.И., Морозов Ю.А., Прокопович И.В. // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 2004. — Вып. 2(22). — С. 68 — 71.



3. Прокопович О.И. Температура поверхности катанки как косвенный параметр качества / Прокопович О.И., Прокопович И.В., Гогунский В.Д. // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 2003. — Вып. 2(20). — С. 128 — 130.
4. Кац А.М. Теплофизические основы непрерывного литья слитков цветных металлов и сплавов / Кац А.М., Шадек Е.Г. — М.: Металлургия, 1983. — 208 с.
5. Прокопович О.И. Идентификация математической модели непрерывного литья медной катанки / Прокопович О.И., Морозов Ю.А., Прокопович И.В. // Тр. Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 2005. — Спецвыпуск. — С. 106 — 109.
6. M. El-Bealy. Simulation of cooling conditions in secondary cooling zones in continuous casting process / M. El-Bealy, N. Leskinen, N. Fredriksson.. — Ironmaking and Steelmaking, 1995. — № 3(22). — P. 246 — 255.
7. P. Lober. Industrielle Steuerungstechnik. — Berlin, Institut für Automatisierungstechnik. — TU Bergakademie Freiberg 01.01.2000.

ФОРМИРОВАНИЕ ВОСКОВЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЮВЕЛИРНЫХ ОТЛИВОК

Саитов В.И., Савельева Е.В.

Одес. нац. политехн. ун-т

Восковая модель - сердце всего ювелирного производства. Модельер, используя в начале своей работы эскиз, нарисованный на бумаге, постепенно превращает его в объемное изделие. Модельер играет роль связующего звена между идеями дизайнера, воплощенными в виде эскиза и практической работой ювелира, выполненной в металле, с учетом всех возможностей, проблем и особенностей производства ювелирных изделий. Именно поэтому модельер, работающий с воском, должен хорошо понимать и учитывать все технологические процессы, которые шаг за шагом превращают воск в оригинальное изделие. Он мысленно должен проходить операции формирования восковки, формовки опок, заливки их расплавом, очистки отливок, мехобработки, пайки элементов, закрепки вставок и т.д. Модельер не должен забывать, что готовая модель, изготовленная из воска - это не результат работы, а только первый шаг в создании ювелирного изделия.

В основе массового ювелирного производства лежит технология точного литья по выплавляемым моделям. Эта технология известна с древнейших времен. Индейцы Майя много столетий назад отливали из золота сложнейшие изделия с высокой степенью проработки деталей именно по этой технологии. Тот же технологический процесс (с учетом использования современных знаний и более качественных формовочных расходных материалов) используется и в настоящее время. Восковка является обязательной составляющей всего процесса - как при тиражировании изделий, так и при отливке изделия из единичной восковой модели, являющейся результатом длительной работы модельера. Основная работа модельера - вырезать из воскового блока модель, готовую для литья, добавив к ней некоторые элементы, которые нельзя выполнить из цельного блока. Безусловно, чем шире диапазон доступного инструментария и оборудования, тем больше возможностей при работе. Воск не должен оказывать сопротивления инструменту и не затуплять его режущие кромки.

