Глава 2

ПРОТОТИПИРОВАНИЕ

§ 7
Прототип и прототипирование

Понять

Производство любого продукта требует выполнения множества этапов. В эти этапы входят как подготовительный процесс, так и непосредственно производство изделия. Чтобы найти наиболее удачные решения, нужно построить и исследовать несколько *моделей*. Моделирование решает большое количество разнообразных задач.

С помощью *математической модели* находят оптимальные параметры функционирования изделия.

С помощью *графической модели* разрабатывают дизайн изделия и улучшают его внешний вид.

С помощью *физической модели* оптимизируют эргономичность изделия.

Также моделирование позволяет сократить расходы и время на производство, так как создаётся более оптимальная модель.

Прототип — это базовая модель изделия. *Прототипирование* (англ. *prototyping*) — процесс построения прототипа. Этот термин произошёл из греческого языка: *протос* — «первый» и *типос* — «оттиск», «отпечаток». Прототипирование — это разработка модели, максимально близкой по функционалу и форме к итоговому продукту. После построения прототипа проводят анализ и коррекцию ошибок модели. Прототип может быть произведён с помощью других технологий и материалов, нежели конечный продукт.

Прототипирование — важный этап разработки изделия. После первого этапа разработки — постановки задачи — проводится второй этап — проектирование модели. На основе модели разрабатывается прототип изделия (рис. 2.1).

Проводятся различные испытания прототипа, с помощью которых находятся недостатки продукта (изделия), не выявленные на этапе проектирования аналитически. На основе этих испытаний прототип модифицируется и исправляется. Если найденные недочёты несложные, происходит переход к разработке итогового изделия. В случае нахождения серьёзных проблем проект переходит снова на стадию перепроектирования с учётом выявленных недостатков (рис. 2.2).

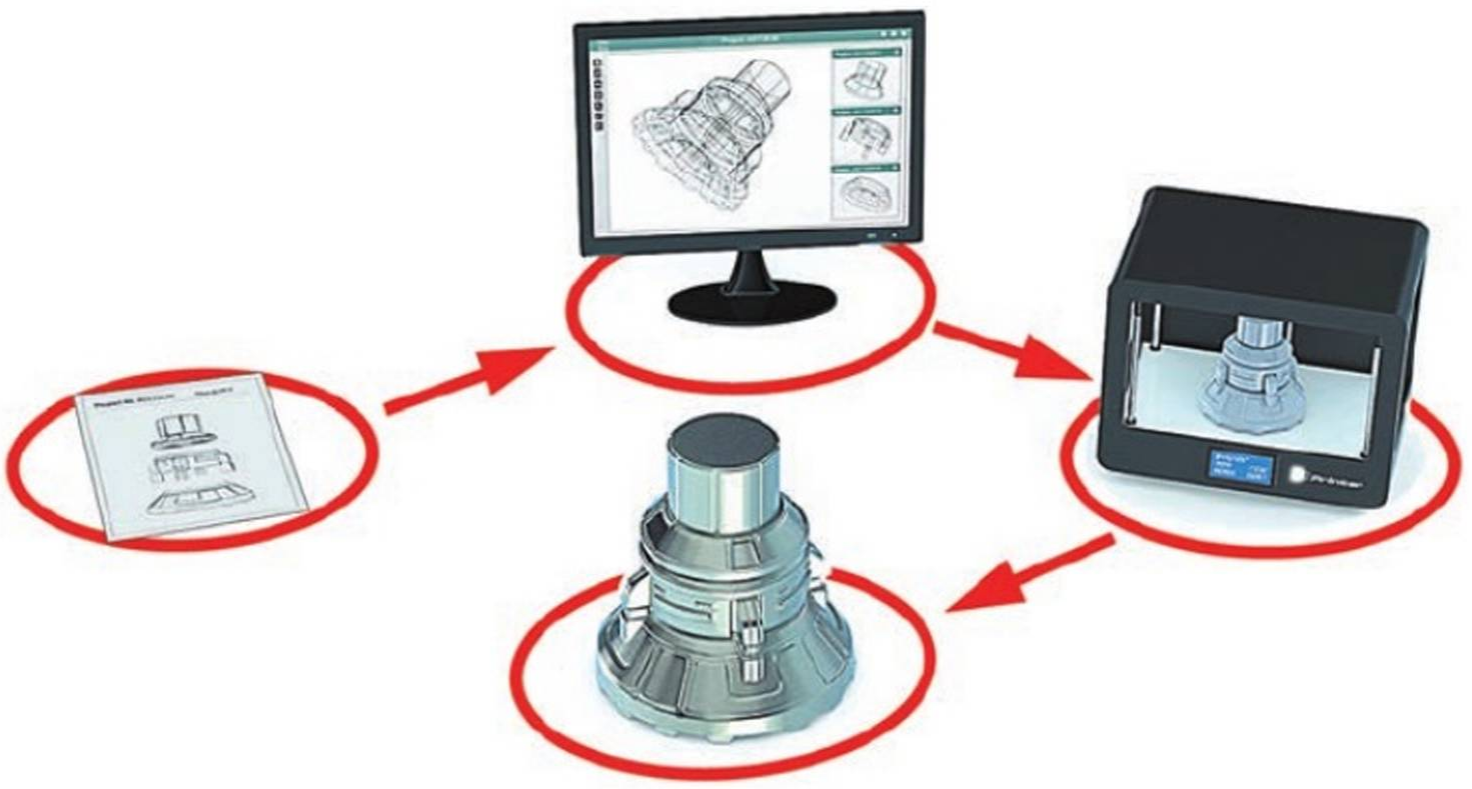


Рис. 2.1. Прототип и конечный продукт



Рис. 2.2. Процесс разработки изделия

При прототипировании могут использоваться более дешёвые технологии и материалы, что сокращает финансовые затраты и время на проектирование продукта. К примеру, вместо металла можно взять полимерную глину. Но она не подходит для массового производства изделий, так как такое производство сложно масштабировать (производить большими партиями), а кроме того этот материал как правило менее прочен (износостоек) при большом весе. Однако при этом полимерная глина позволяет проще модифицировать форму прототипа изделия, чем материалы, применяемые в серийных изделиях, например различные металлы.

Процесс разработки изделия принципиально изменился в связи с развитием *информационных технологий*. Возросшая производительность компьютеров позволяет строить более совершенные компьютерные модели и тем самым уменьшать число прототипов.

Стоимость многих высокотехнологичных продуктов, например автомобилей, в большой степени зависит от средств, затраченных на их

разработку. Следовательно, чем меньше изготовлено прототипов автомобиля, тем ниже будет его итоговая цена.

Одна популярная компания по производству автомобилей в 1998 г. поставила цель разработать максимально комфортный, надёжный и при этом бюджетный автомобиль. Для снижения цены разработки было использовано компьютерное моделирование. Тогда впервые в истории удалось обойтись без изготовления множества начальных прототипов и сразу выпустить максимально близкий к серийному продукт. К примеру, вместо физических макетов для определения характеристик акустики и вибраций была использована компьютерная модель.

Компьютерные технологии позволяют не изготавливать дорогостоящие прототипы технологически сложных и больших изделий. Для разработки подобных продуктов используют виртуальные модели. Поскольку рабочие машины при всей своей непохожести состоят из двигателя, передаточного и исполнительного механизмов, а также системы управления, то прототипы для проведения испытаний должны иметь именно такие составные части (рис. 2.3).

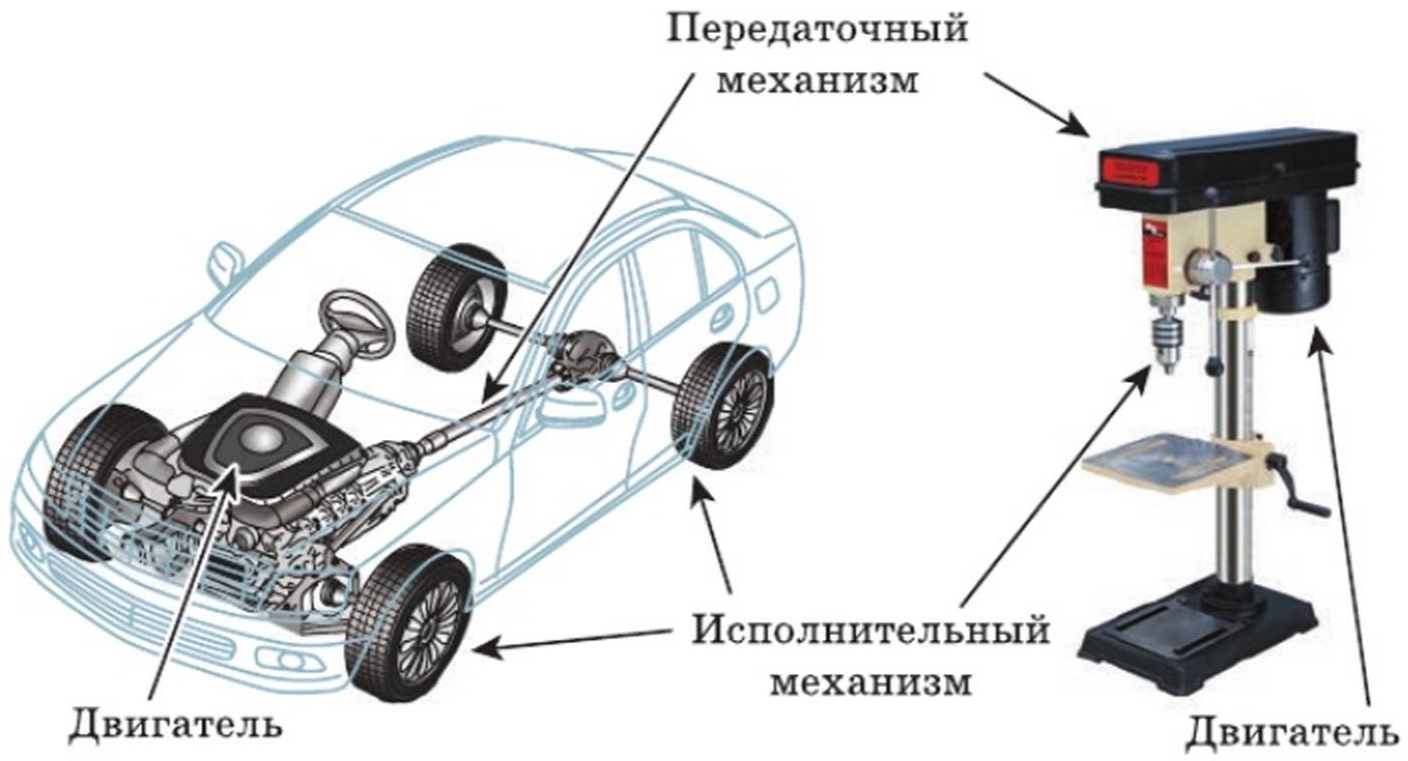


Рис. 2.3. На основе 3D-моделей автомобиля и сверлильного станка можно изготовить прототипы

Новый уровень компьютерных технологий преобразил и сам процесс прототипирования. Какое-то время назад прототипы в основном изготавливались вручную. С появлением 3D-принтеров этот процесс стал автоматизированным.

В современном мире имеется большое количество технологий печати, с помощью которых прототипы изготавливают *послойно*:

1) лазерная стереолитография (сокр. SLA и STL от англ. *Stereolithography Text Language*) — 3D-печать с помощью фотополимерной смолы;

2) масочная стереолитография (сокр. SGC от англ. *Solid Ground Curing*) — нанесение тонких слоёв фотополимерной смолы на твёрдое основание;
3) моделирование методом послойного наплавления (сокр. FDM от англ. *Fused Deposition Modeling*);
4) распыление или нанесение термопластов (сокр. BPM от англ. *Ballistic Particle Manufacturing*);
5) выборочное лазерное спекание синтетических материалов (сокр. SLS от англ. *Selective Laser Sintering*);
6) изготовление прототипов методом ламинирования (сокр. LOM от англ. *Laminated Object Modeling*).

Благодаря технологиям быстрого прототипирования имеется возможность изготовить физическую модель изделия. На экспериментальных моделях производят анализ эргономичности, дизайна, совместимости деталей и оборудования до запуска продукта в массовое производство.

Все вышеперечисленные технологии основаны на трёхмерных компьютерных моделях. Большинство систем автоматизированного проектирования работ (САПР, или англ. *computer-aided design* — CAD) имеют возможность экспорта моделей в формат *Stereolithography Text Language* — STL (лазерная стереолитография). Для 3D-принтеров STL сегодня является графическим стандартом.

Ещё совсем недавно для изготовления изделия в основном использовались так называемые болванки — заготовки, из которых вырезались лишние части, и в итоге получалось финальное изделие. Это — *субтрактивный подход* (от лат. *subtrahere* — «отнимать»), основанный на изъятии лишнего материала. У субтрактивного подхода есть неоспоримое достоинство — простота технологического процесса, но есть и минусы: тратится много материала, трудно создать изделие сложной формы (рис. 2.4).

Подход, противоположный субтрактивному, основан на пошаговом добавлении материала. Таким образом деталь «выращивается». Это — *аддитивный подход* (от лат. *addere* — «добавлять»). Используемый материал должен соответствовать определённым требованиям, но в результате такого подхода затраты на материал существенно снижаются, а изделие может иметь практически любую форму и сложность (рис. 2.5).

Виртуальная модель изделия должна быть приспособлена для печати на автоматизированных станках. Для этого нужно использовать понятный для таких станков язык описания модели.

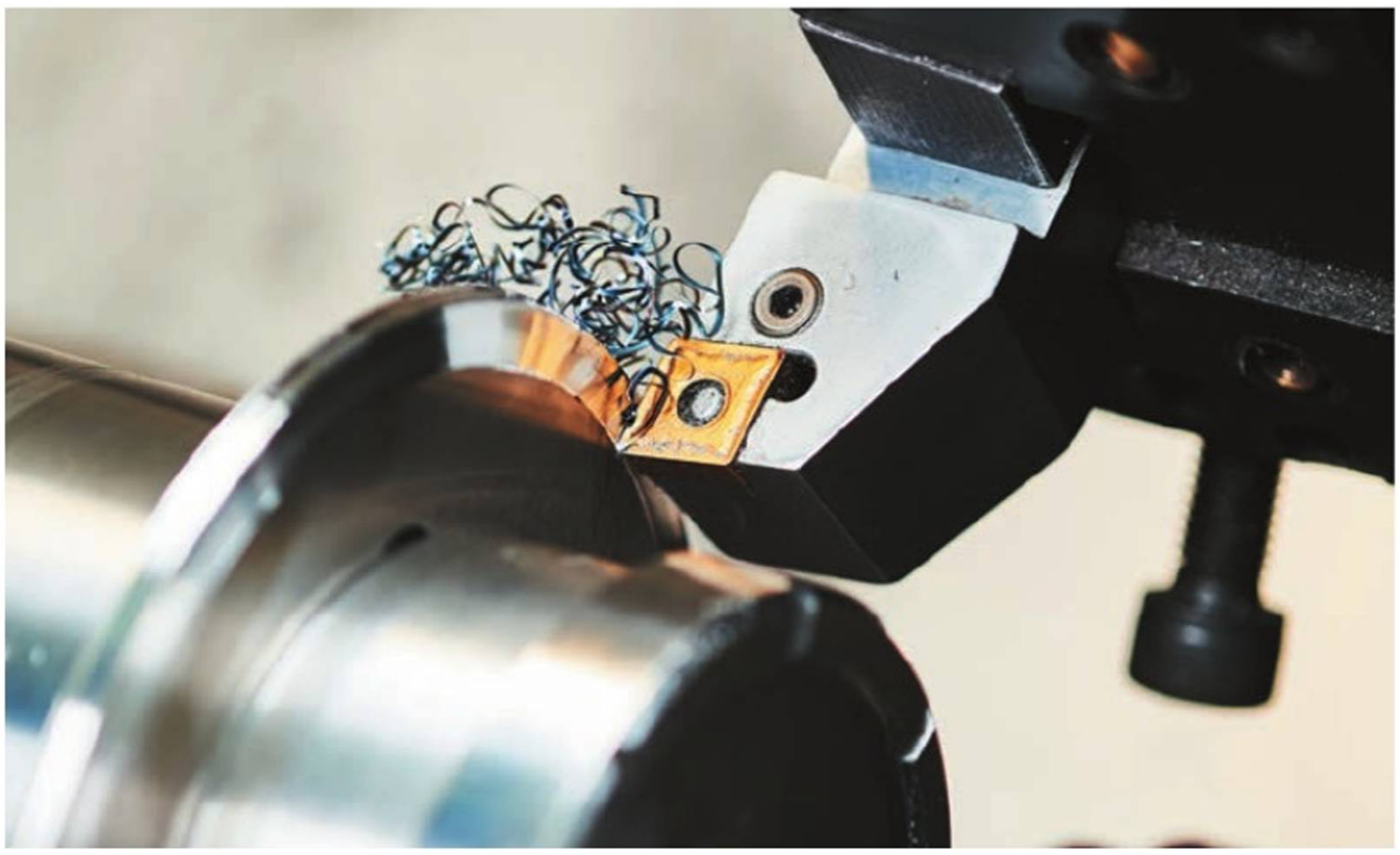


Рис. 2.4. Снятие лишнего материала на токарно-винторезном станке — субтрактивный подход

Аддитивный подход позволяет получать модели, используемые для проведения испытаний, и готовые изделия с помощью 3D-печати.

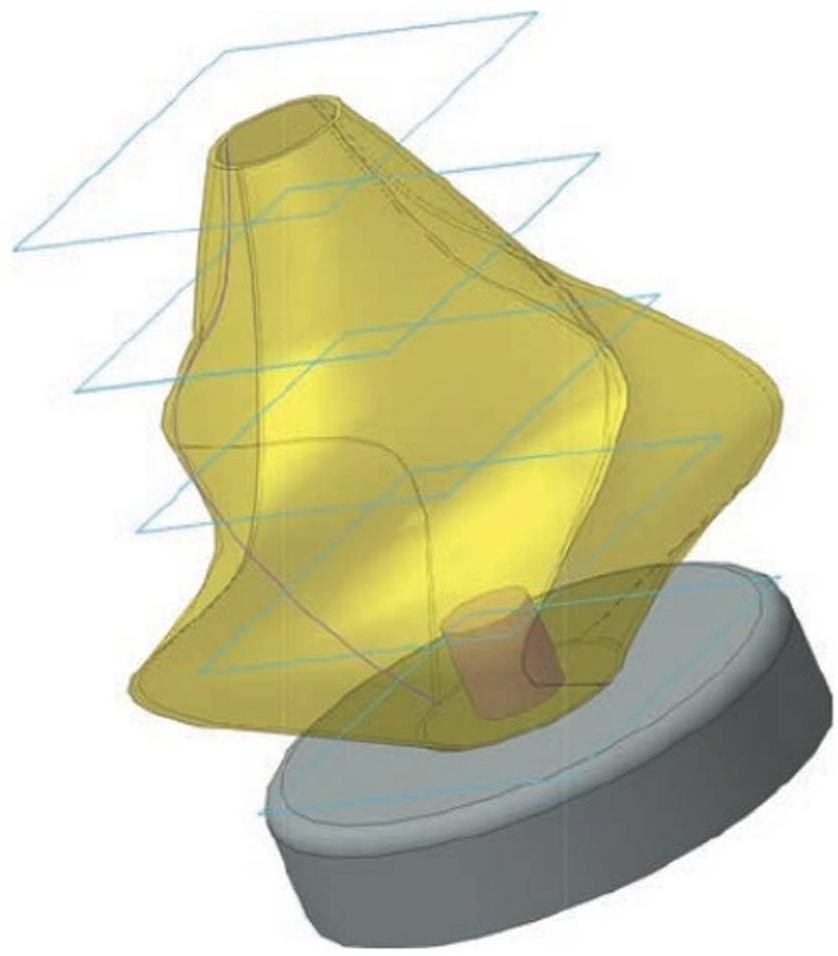


Рис. 2.5. Получение сложной формы изделия при 3D-моделировании без потерь материала — аддитивный подход

Проверить

G-code — это язык программирования для станков с ЧПУ (числовым программным управлением). 3D-принтер — это тоже станок с ЧПУ, создающий деталь на основе аддитивного подхода.

Рассмотрим программу на языке G-code для вырезания прямоугольного отверстия при фрезеровании.

Входные данные:

- контур обходится по часовой стрелке;
- стороны прямоугольника a и b равны 100 и 200 соответственно;
- фреза движется по линии;
- координаты начала движения X и Y равны 20 и 30 соответственно;
- вертикальная координата (безопасная высота) Z равна 1;
- фрезерование происходит на глубине 2 мм;
- скорость инструмента — 60 мм/мин.

Программа написана в виде команд управления с использованием G-code (*пример программы*). Команды группы G (см. начало каждой строки) — подготовительные, команда группы M (предпоследняя строка) — завершающая.

```
%
O01 (Rectangle) (название программы – «Rectangle», её номер – O01)
G00 Z1                  (начальное положение инструмента на оси Z)
G00 X20 Y30                   (перемещение фрезы к началу движения)
G01 Z-2 F60       (врезание инструмента на глубину фрезерования)
G01 X20 Y130 F60                                (вырезание стороны a)
G01 X220 Y130                                   (вырезание стороны b)
G01 X220 Y30                                    (вырезание стороны a)
G01 X20 Y30    (вырезание стороны b, возврат к началу координат)
G00 Z1                  (поднятие фрезы над рабочей поверхностью)
M30                                                  (конец программы)
%
```

После обозначения группы (O, G или M) следует цифра, выражающая числовое значение заданного параметра — длины стороны, глубины фрезерования, координат по осям X и Y.

Знать

Чтобы напечатать модель, нужно определить входные данные, а затем написать программу на языке G-code. Программа пишется для так называемых слоёв, из которых состоит модель и которые печатает 3D-принтер. Каждый слой переведён в G-code, а программа подготовки слоёв называется слайсер (от англ. *slice* — «срезать»).

При разработке программы для 3D-принтера (аддитивный подход) виртуальную модель из САПР обрабатывают слайсером. В слайсере можно задать параметры работы — толщину сторон деталей, особенности внутреннего заполнения, режим работы устройства. Также слайсер позволяет выявлять ошибки процесса, исправлять программу изготовления, выставлять условия обработки, определять время работы устройства.

Готовая программа на G-code для изготовления детали передаётся на устройство с ЧПУ.

Обычные токарные и фрезерные станки работают по субтрактивной технологии (рис. 2.6). При фрезеровке, шлифовке, резке, сверлении лишний материал удаляют.



Рис. 2.6. Токарно-винторезный станок — одна из разновидностей токарного станка

На токарном станке изготавливают детали путём точения материала при вращении заготовки. На фрезерном станке вырезают детали с плоскими поверхностями. Однако и токарные, и фрезерные станки могут быть с числовым программным управлением (рис. 2.7).

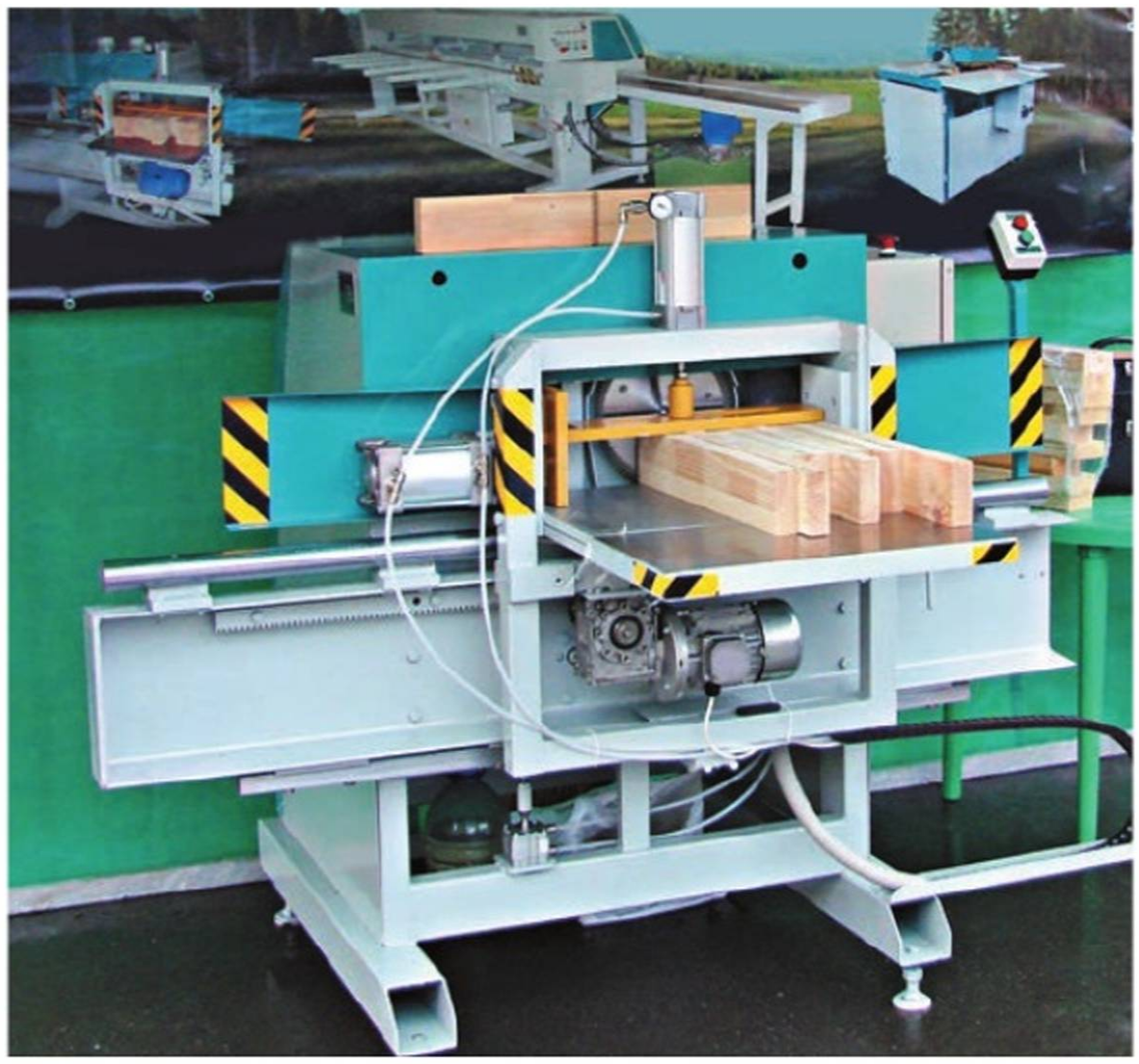


Рис. 2.7. Станок с ЧПУ

Применять

Упражнение 1

Разработайте 3D-ручку, рисующую пластиком. Для этого необходимо провести анализ существующих моделей, разработать прототип и провести его тестирование и модернизацию.

Исследуйте существующие 3D-ручки с помощью интернет-ресурсов. Нарисуйте эскиз новой ручки, слепите из полимерной глины или пластилина её прототип и протестируйте его. Насколько удобно держать вашу ручку? На основе тестирования скорректируйте форму прототипа и постройте трёхмерную модель в программе КОМПАС-3D LT.

Упражнение 2

Чтение G-кода. Какая фигура получится, если станок будет вырезать материал по следующим координатам:
1) *X*0 *Y*0; 2) *X*10 *Y*20; 3) *X*20 *Y*0 4) *X*0 *Y*0?