

Д.В. Власова, И.Ю. Сапронов, О.М. Ховова

# Комплект домашних заданий по курсу «Материаловедение»

*Учебное пособие*



Москва

ИЗДАТЕЛЬСТВО

МГТУ им. Н. Э. Баумана

2 0 1 7

УДК 621.785(075.8)

ББК 34.651

B58

Издание доступно в электронном виде на портале *ebooks.bmstu.ru*  
по адресу: <http://ebooks.bmstu.ru/catalog/46/book1709.html>

Факультет «Машиностроительные технологии»

Кафедра «Материаловедение»

*Рекомендовано Редакционно-издательским советом  
МГТУ им. Н.Э. Баумана в качестве учебного пособия*

**Власова, Д. В.**

B58      Комплект домашних заданий по курсу «Материаловедение» : учебное пособие / Д. В. Власова, И. Ю. Сапронов, О. М. Ховова. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. — 42, [2] с. : ил.

ISBN 978-5-7038-4754-1

Представлен комплект из 18 домашних заданий по общему курсу «Материаловедение». На примере подробно рассмотрены содержание и последовательность основных этапов выполнения домашнего задания с использованием специальной справочной литературы — марочников сталей и сплавов. Приведены требования к оформлению отчета по выполненному заданию и указан порядок его защиты.

Для студентов 2- и 3-го курсов МГТУ им. Н.Э. Баумана, обучающихся по машиностроительным специальностям инженерного направления подготовки.

УДК 621.785(075.8)

ББК 34.651

ISBN 978-5-7038-4754-1

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

© Оформление. Издательство  
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

## Предисловие

В учебном пособии представлены комплект домашних заданий по общему курсу «Материаловедение» и пример выполнения домашнего задания. Пособие предназначено для студентов машиностроительных специальностей инженерного направления подготовки МГТУ им. Н.Э. Баумана. В прежних изданиях кафедра публиковала только методические указания к выполнению домашнего задания, а сами задания разрабатывались разными авторами как отдельные комплекты. Отсутствие единого методического подхода затрудняло работу студентов при выполнении домашнего задания.

Домашнее задание предлагает студенту сделать обоснованный выбор марки стали для изготовления конкретного изделия и рекомендовать для нее упрочняющую термическую обработку. В данном учебном пособии комплект домашних заданий представлен в новой версии: в каждом задании впервые приводится эскиз детали (при подборе объектов авторы использовали известные атласы деталей машин [1, 2]). Кроме того, применительно к каждому изделию предусмотрено пять вариантов задания, различающихся исходными данными по размерным параметрам детали, по уровню требований к структуре или к механическим свойствам материала. Такой методический прием расширяет диапазон возможных инженерных решений, предполагает развитие у студентов аналитического подхода к выбору материала или режима его упрочняющей обработки [3–5]. В общей сложности комплект включает 18 заданий, что с учетом вариантов (всего 90 заданий) позволяет его использовать и для студентов одной группы, и в потоке из трех-пяти групп.

В пособии подробно изложены требования к оформлению и защите выполненного домашнего задания, приведен список литературы.

Для удобства студентов и преподавателей каждое задание комплекта имеет условную буквенно-цифровую индексацию (МД-1, МД-2 и т. д.), что соответствует общекафедральной картотеке.

Наряду с комплектом заданий в учебном пособии приведен пример выполнения домашнего задания с подробными методическими рекомендациями, в первую очередь касающимися работы студентов с особым видом справочной технической литературы — с марочниками сталей и сплавов [6–8]. Такой подход имеет принципиальное значение. Выполняя домашнее задание, студенты знакомятся с информацией о материалах, представленной в марочниках, приобретают необходимые навыки работы с таким видом литературы и применяют эти навыки на практике. Приобретение таких навыков на профессиональном уровне является главной целью выполнения домашнего задания.

## **Список обозначений**

HB — твердость по шкале Бринелля

HRC — твердость по шкале Роквелла

HV — твердость по шкале Виккерса

KCU — ударная вязкость, Дж/см<sup>2</sup>

$\Delta h$  — глубина упрочненного слоя, мм

$\sigma_{0,2}$  — условный предел текучести, МПа

## Введение

В Программе общего курса «Материаловедение», изучаемого студентами МГТУ им. Н.Э. Баумана всех машиностроительных и приборостроительных специальностей инженерного профиля, предусмотрено выполнение домашнего задания. Домашнее задание представляет собой несложную типичную инженерную задачу, связанную с выбором марки материала для изготовления предлагаемого изделия и разработкой принципиальной технологии его упрочняющей термической обработки.

В условиях реального промышленного производства принят следующий порядок решения подобной задачи. Вначале инженер-конструктор изделия проводит обоснованный выбор материала и назначает наиболее подходящую марку материала, а затем уже инженер-технолог разрабатывает для этого материала режимы упрочняющей термической обработки. Такой подход позволяет в комплексе обеспечить и возможность изготовления изделия по самой рациональной технологии, и возможность получения изделий с требуемыми эксплуатационными свойствами. В учебном домашнем задании предусмотрено условное объединение этих функций конструктора и технолога: решается комплексная задача по выбору материала и технологии его упрочнения для распространенных видов деталей машин или инструмента.

**Главная цель** такого домашнего задания — ознакомить студентов с особым видом справочной технической литературы — с марочниками сталей и сплавов [6–8] с тем, чтобы они смогли приобрести практические навыки работы с марочниками и применить полученные навыки при решении типичной инженерной задачи. Умение работать с марочниками — обязательный элемент инженерной подготовки, поскольку в инженерной практике именно эти издания используются для решения различных задач.

В каждом домашнем задании студенту предстоит обосновать и выбрать марку стали для конкретного изделия, эскиз которого приводится, с учетом его геометрии и требуемых характеристик. Кроме того, для выбранной стали необходимо обосновать и рекомендовать упрочняющую термическую (или химико-термическую) обработку, которая будет гарантировать работоспособность детали в условиях эксплуатации.

В качестве предлагаемых изделий для домашних заданий отобраны типичные детали машино- и приборостроения, поэтому принципиально важно, что на многих факультетах МГТУ им. Н.Э. Баумана дисциплины «Материаловедение» и «Детали машин» изучаются параллельно.

При выполнении домашнего задания студент обязательно должен продемонстрировать определенный уровень общей инженерной эрудиции, уже полученный при изучении, наряду с дисциплиной «Материаловедение», таких базовых инженерных дисциплин, как «Сопротивление материалов» и «Детали машин». Вначале необходимо представить и проанализировать условия работы изделия, определить характер нагружения отдельных его зон и выявить среди них наиболее проблемные, определяющие работоспособность изделия в целом. Кроме того, студенту важно владеть основными представлениями о взаимосвязи между структурой и свойствами сталей. Исходя из условий работы изделия и ориентируясь на материалы лекций по курсу «Материаловедение» или учебника [3], можно определить то структурное состояние стали, которое обеспечит нужный уровень свойств и работоспособность изделия в предлагаемых условиях эксплуатации. Соответственно по требуемому структурному состоянию стали можно установить типичный класс сталей и возможные пути реализации в изделии требуемых свойств.

Ориентируясь на выбранный класс сталей, студент уже может провести поиск наиболее оптимальной марки стали, в полной мере удовлетворяющей всем исходным данным задания, и рекомендовать для нее принципиальный режим упрочняющей термической обработки. Именно эта основная часть задания и должна выполняться с использованием марочников сталей и сплавов.

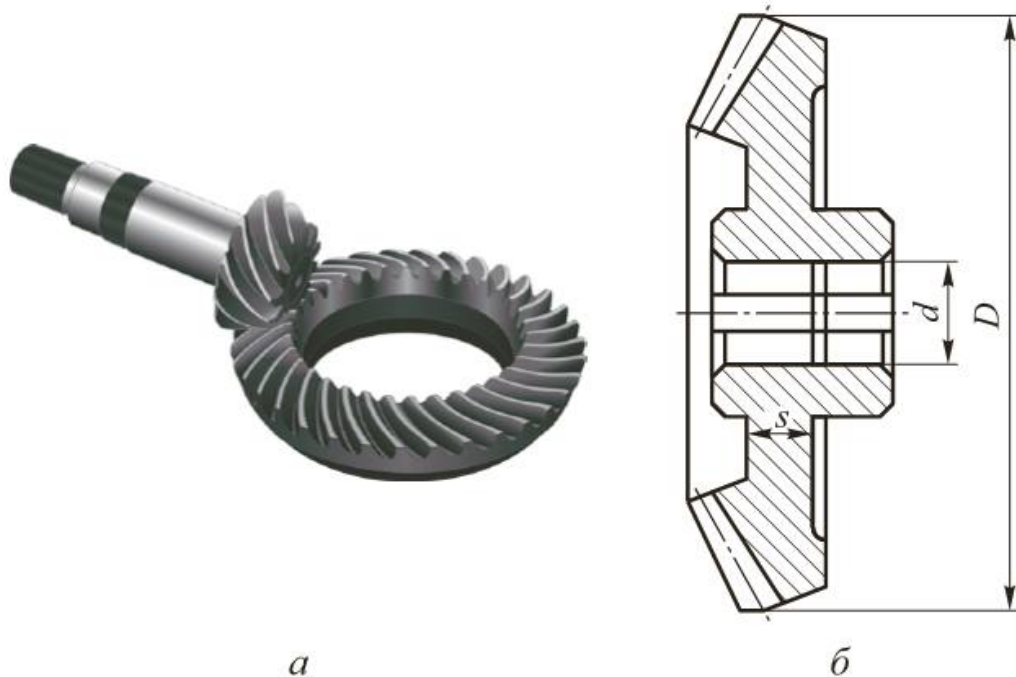
Марочники сталей и сплавов подготовлены разными авторскими коллективами [6–8], но в главном они имеют одинаковую концепцию. В марочниках размещена самая необходимая информация о нескольких сотнях марок сталей и сплавов, наиболее широко применяемых в машино- и приборостроении. Важно, что все представленные в марочниках сведения о материалах четко структурированы и систематизированы, поэтому пользоваться ими очень удобно. Конкретную марку стали или сплава найти по оглавлению очень легко, поскольку расположение материалов в пределах каждого раздела представлено в единой логике по мере усложнения их химического состава.

Все материалы в марочниках сгруппированы по наиболее типичному их применению, причем принцип изложения информации — единый. По каждому материалу приведен марочный химический состав (включая содержание примесных элементов, что очень важно для оценки качества стали и ее цены), представлен основной выпускаемый промышленностью сортамент по ГОСТу или ТУ, приведены температуры фазовых превращений, комплекс свойств после различных вариантов обработки. Здесь же представлены свойства материала для разных условий испытания (для повышенных и пониженных температур эксплуатации, для циклического или ударного нагружения), основные технологические характеристики, включая прокаливаемость сталей и их склонность к отпускной хрупкости. В марочниках также даются рекомендации наиболее типичного применения каждой стали и возможные ее аналоги-заменители, что помогает пользователю точно сориентироваться при выборе материала для заданной детали. При выборе стали вполне может быть учтен и такой важный аспект задания, как характер производства детали (массовое, крупносерийное или единичное), который прямо связан с ценой применяемого материала. Важный ориентир при таком выборе — это подбор стали с менее дефицитными легирующими элементами, а также с соответствующим качеством ее выплавки. Таким образом, марочники содержат все основные сведения о конструкционных и инструментальных материалах, которые необходимы для решения большинства инженерных задач, а значит, и для выполнения предлагаемого домашнего задания. Работа с марочниками подробно разобрана в разделе «Пример выполнения домашнего задания».

Таким образом, выполнение домашнего задания, связанного с решением типичной инженерной задачи, должно способствовать формированию у студента инженерного мышления, развивать аналитический подход и умение применять в комплексе знания, полученные при изучении смежных базовых инженерных дисциплин.

## 1. Домашние задания

**Задание МД-1.** Пользуясь марочником сталей и сплавов, выбрать марку стали для изготовления зубчатого колеса редуктора ручной строительной лебедки (рис. 1.1). Производство лебедок серийное.



**Рис. 1.1.** Зубчатое колесо редуктора ручной строительной лебедки:

*a* — общий вид зубчатого зацепления; *б* — эскиз зубчатого колеса

При выборе стали использовать данные согласно выданному варианту домашнего задания (табл. 1.1): основные размеры зубчатого колеса, твердость поверхности зубьев HRC, глубина упрочненного слоя  $\Delta h$ , твердость сердцевины HB в указанных пределах.

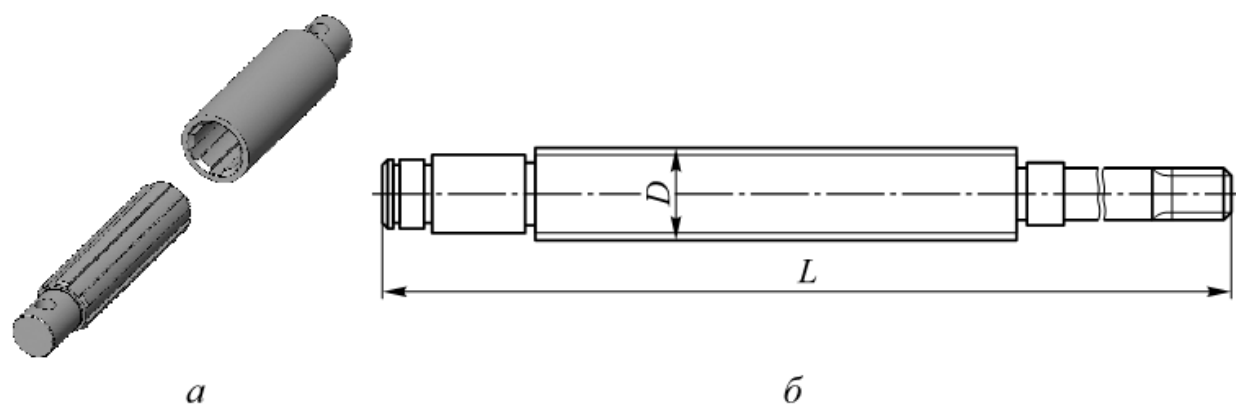
Обосновать сделанный выбор стали, рекомендовать упрочняющую обработку зубчатого колеса, которая обеспечит его работоспособность в предлагаемых условиях.

Таблица 1.1

Исходные данные

| Вариант | $D$ , мм | $d$ , мм | $s$ , мм | $\Delta h$ , мм | HRC   | HB      |
|---------|----------|----------|----------|-----------------|-------|---------|
| а       | 350      | 52       | 35       | 1,0–1,2         | 59–63 | 160–175 |
| б       | 250      | 40       | 28       | 0,8–1,0         | 56–60 | 150–155 |
| в       | 270      | 45       | 30       | 0,7–0,8         | 58–61 | 148–160 |
| г       | 450      | 75       | 50       | 1,2–1,4         | 59–60 | 270–290 |
| д       | 700      | 130      | 85       | 1,6–1,8         | 58–62 | 280–300 |

**Задание МД-2.** Пользуясь марочником сталей и сплавов, выбрать марку стали для изготовления шлицевого вала привода рулевого управления автомобиля (рис. 1.2). Производство автомобилей крупносерийное.



**Рис. 1.2.** Шлицевой вал привода рулевого управления автомобиля:  
*а* — общий вид шлицевого соединения; *б* — эскиз шлицевого вала

При выборе стали использовать данные согласно выданному варианту домашнего задания (табл. 1.2): основные размеры шлицевого вала, твердость шлицевой поверхности HRC в указанных пределах, предел текучести сердцевины  $\sigma_{0,2}$  (не менее).

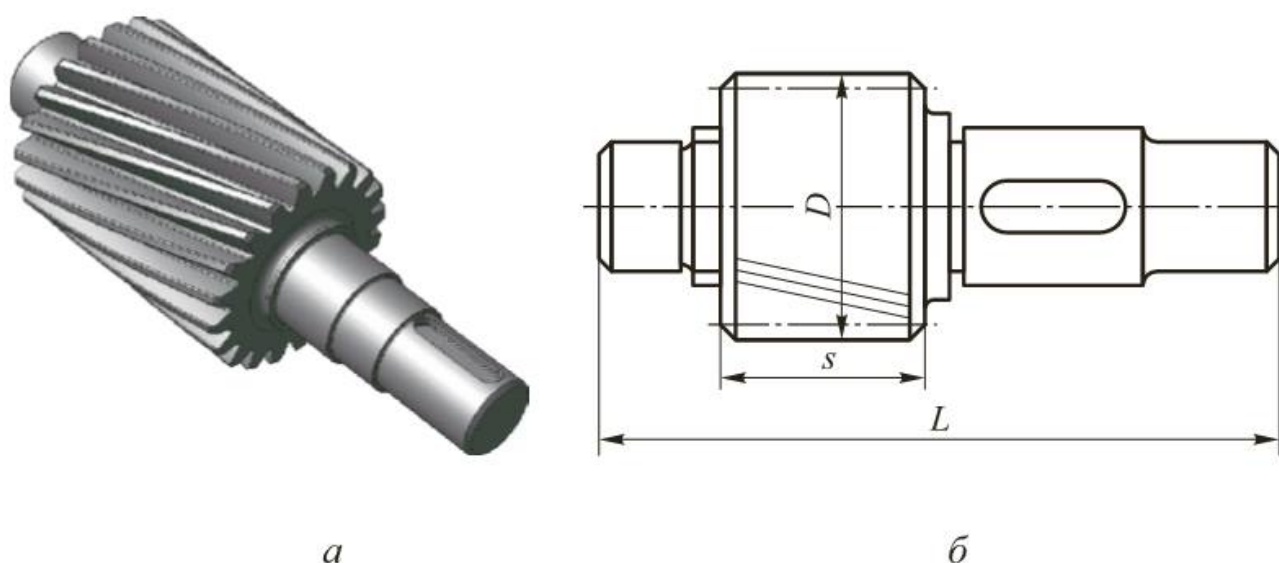
Обосновать сделанный выбор стали, рекомендовать упрочняющую обработку шлицевого вала, которая обеспечит его работоспособность в предлагаемых условиях.

Таблица 1.2

**Исходные данные**

| Вариант | $D$ , мм | $L$ , мм | HRC   | $\sigma_{0,2}$ , МПа |
|---------|----------|----------|-------|----------------------|
| а       | 40       | 450      | 50–52 | 800                  |
| б       | 37       | 310      | 50–54 | 950                  |
| в       | 55       | 800      | 50–56 | 920                  |
| г       | 28       | 320      | 55–57 | 750                  |
| д       | 40       | 350      | 50–53 | 850                  |

**Задание МД-3.** Пользуясь марочником сталей и сплавов, выбрать марку стали для изготовления высокоточного вала-шестерни механизма перемещения рабочего стола координатно-расточного станка (рис. 1.3). Производство станков мелкосерийное.



**Рис. 1.3.** Высокоточный вал-шестерня:  
а — общий вид; б — эскиз вала-шестерни

При выборе стали использовать данные согласно выданному варианту домашнего задания (табл. 1.3): основные размеры вала-шестерни, твердость поверхности зубьев HV (не менее), глубина упрочненного слоя  $\Delta h$  в указанных пределах, предел текучести сердцевины  $\sigma_{0,2}$  (не менее).

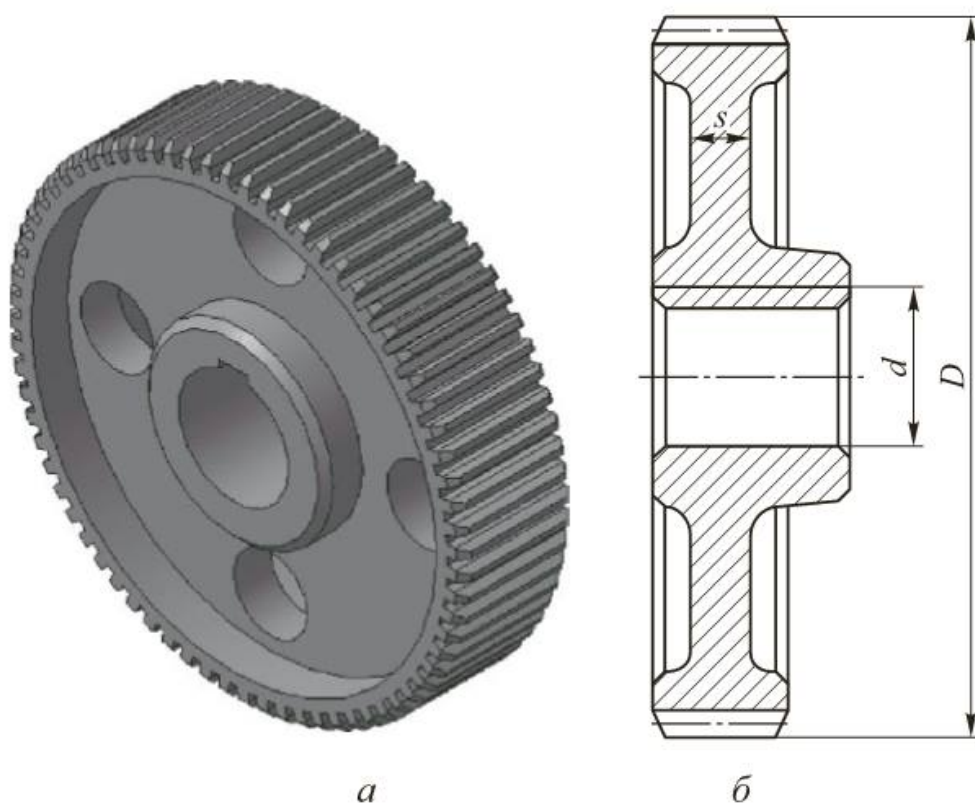
Обосновать сделанный выбор стали, рекомендовать упрочняющую обработку вала-шестерни, которая обеспечит его работоспособность в предлагаемых условиях.

Таблица 1.3

**Исходные данные**

| Вариант | $D$ , мм | $L$ , мм | $s$ , мм | HV  | $\Delta h$ , мм | $\sigma_{0,2}$ , МПа |
|---------|----------|----------|----------|-----|-----------------|----------------------|
| а       | 58       | 150      | 30       | 850 | 0,45–0,50       | 870                  |
| б       | 70       | 180      | 55       | 980 | 0,35–0,40       | 980                  |
| в       | 55       | 145      | 40       | 860 | 0,50–0,55       | 1130                 |
| г       | 110      | 285      | 65       | 900 | 0,40–0,45       | 630                  |
| д       | 45       | 120      | 45       | 880 | 0,30–0,35       | 880                  |

**Задание МД-4.** Пользуясь марочником сталей и сплавов, выбрать марку стали для изготовления высокоскоростного мелко-модульного зубчатого колеса редуктора газотурбинного двигателя (рис. 1.4). Производство редукторов мелкосерийное.



**Рис. 1.4.** Мелкомодульное зубчатое колесо редуктора газотурбинного двигателя:

*a* — общий вид зубчатого колеса; *б* — эскиз зубчатого колеса

При выборе стали использовать данные согласно выданному варианту домашнего задания (табл. 1.4): основные размеры зубчатого колеса, твердость поверхности зубьев HV (не менее), глубина упрочненного слоя  $\Delta h$  в указанных пределах, предел текучести сердцевины  $\sigma_{0,2}$  (не менее).

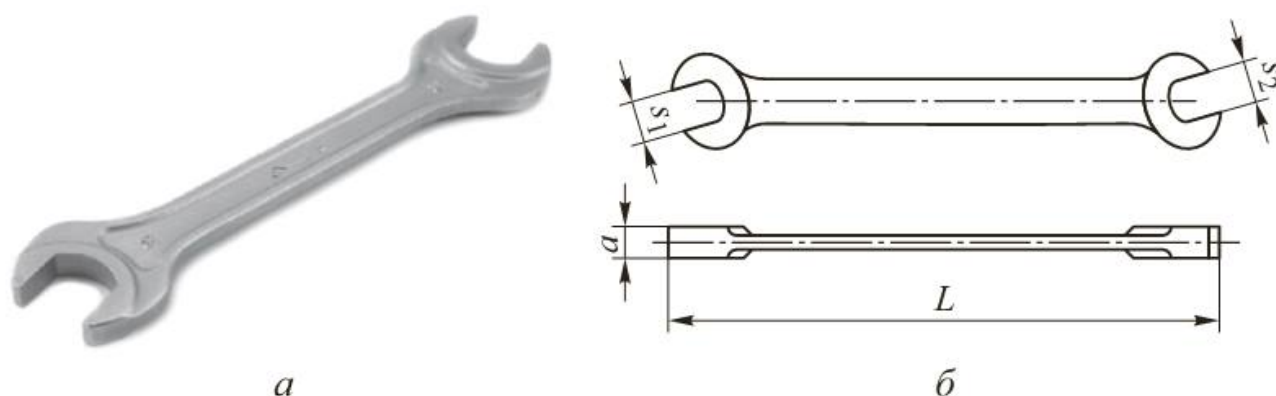
Обосновать сделанный выбор стали, рекомендовать упрочняющую обработку зубчатого колеса, которая обеспечит его работоспособность в предлагаемых условиях.

Таблица 1.4

**Исходные данные**

| Вариант | $D$ , мм | $d$ , мм | $s$ , мм | HV   | $\Delta h$ , мм | $\sigma_{0,2}$ , МПа |
|---------|----------|----------|----------|------|-----------------|----------------------|
| а       | 80       | 30       | 14       | 850  | 0,3–0,4         | 700                  |
| б       | 155      | 40       | 18       | 870  | 0,3–0,4         | 750                  |
| в       | 225      | 50       | 24       | 850  | 0,35–0,45       | 860                  |
| г       | 305      | 60       | 30       | 860  | 0,35–0,45       | 950                  |
| д       | 390      | 70       | 40       | 1000 | 0,4–0,5         | 1050                 |

**Задание МД-5.** Пользуясь марочником сталей и сплавов, выбрать марку стали для изготовления рожкового гаечного ключа для комплекта слесарных инструментов, применяемых в условиях Севера (рис. 1.5). Производство комплектов слесарных инструментов мелкосерийное.



**Рис. 1.5.** Рожковый гаечный ключ:

*а* — общий вид рожкового гаечного ключа; *б* — эскиз рожкового гаечного ключа

При выборе стали использовать данные согласно выданному варианту домашнего задания (табл. 1.5): основные размеры гаечного ключа, предел текучести сердцевины  $\sigma_{0,2}$  (не менее), ударная вязкость КСЧ (не менее).

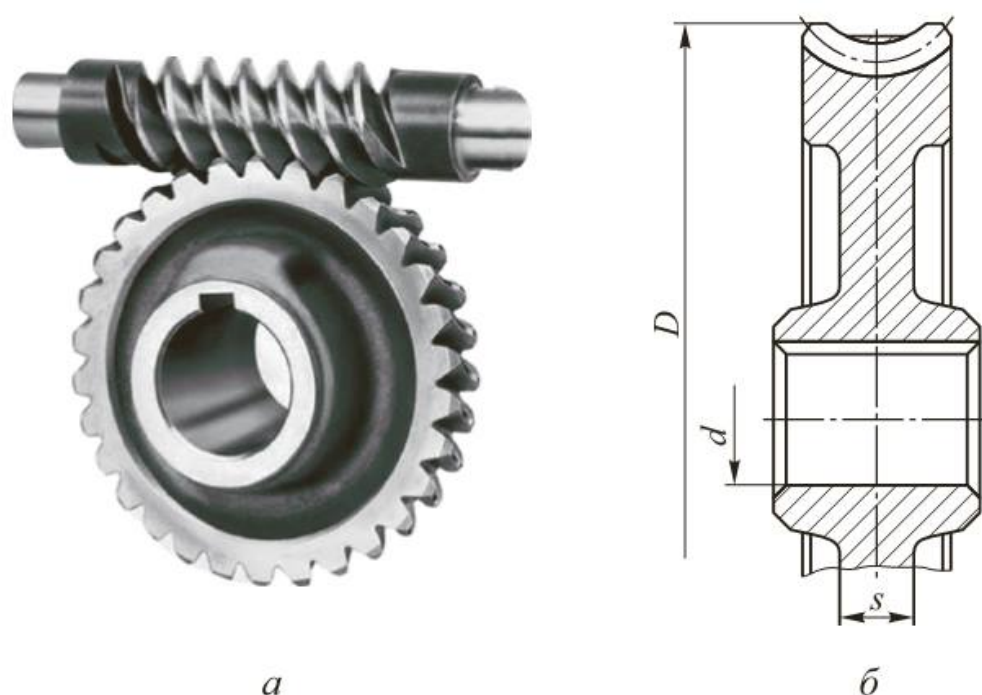
Обосновать сделанный выбор стали, рекомендовать упрочняющую обработку гаечного ключа, которая обеспечит его работоспособность в предлагаемых условиях.

*Таблица 1.5*

**Исходные данные**

| Вариант | $L$ , мм | $s_1$ , мм | $s_2$ , мм | $a$ , мм | $\sigma_{0,2}$ , МПа | КСЧ, Дж/см <sup>2</sup> |
|---------|----------|------------|------------|----------|----------------------|-------------------------|
| а       | 160      | 13         | 15         | 6        | 1090                 | 60                      |
| б       | 175      | 17         | 19         | 8        | 1250                 | 45                      |
| в       | 220      | 22         | 24         | 10       | 1120                 | 80                      |
| г       | 350      | 36         | 41         | 15       | 1160                 | 50                      |
| д       | 670      | 75         | 80         | 23       | 1100                 | 30                      |

**Задание МД-6.** Пользуясь марочником сталей и сплавов, выбрать марку стали для изготовления тяжело нагруженного быстроходного червячного колеса станочного редуктора (рис. 1.6). Производство редукторов крупносерийное.



**Рис. 1.6.** Быстроходное червячное колесо:  
*а* — общий вид червячной передачи; *б* — эскиз червячного колеса

При выборе стали использовать данные согласно выданному варианту домашнего задания (табл. 1.6): основные размеры червячного колеса, твердость поверхности зубьев HRC и глубина упрочненного слоя  $\Delta h$  в указанных пределах, предел текучести сердцевины  $\sigma_{0,2}$  (не менее).

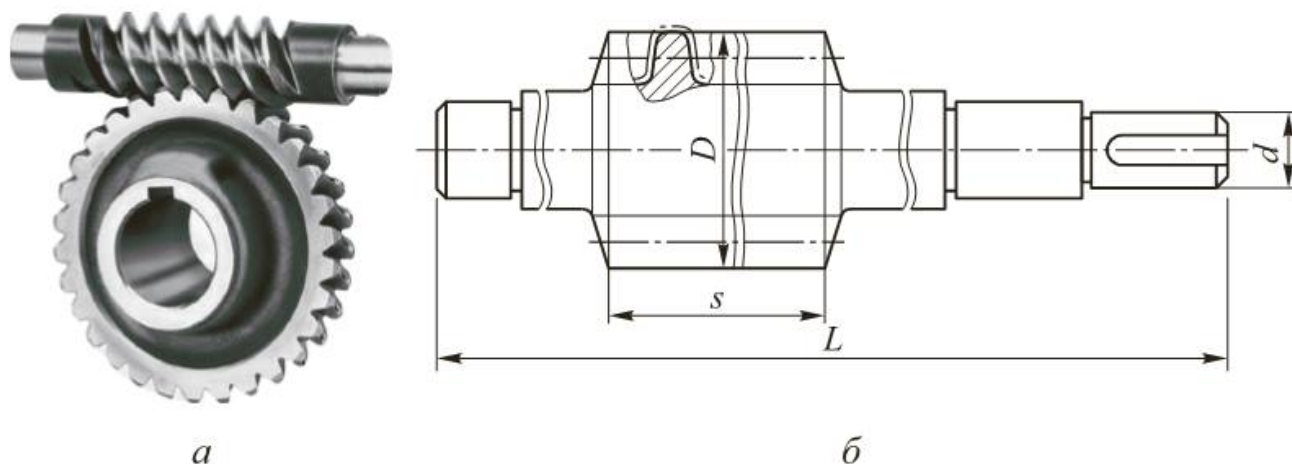
Обосновать сделанный выбор стали, рекомендовать упрочняющую обработку червячного колеса, которая обеспечит его работоспособность при эксплуатации редуктора.

Таблица 1.6

**Исходные данные**

| Вариант | $D$ , мм | $d$ , мм | $s$ , мм | HRC   | $\Delta h$ , мм | $\sigma_{0,2}$ , МПа |
|---------|----------|----------|----------|-------|-----------------|----------------------|
| а       | 290      | 70       | 50       | 58–60 | 1,0–1,2         | 800                  |
| б       | 320      | 80       | 40       | 59–62 | 0,9–1,1         | 750                  |
| в       | 210      | 40       | 20       | 56–60 | 0,7–0,9         | 450                  |
| г       | 240      | 65       | 35       | 58–61 | 0,8–1,0         | 820                  |
| д       | 160      | 30       | 25       | 59–61 | 0,7–0,9         | 700                  |

**Задание МД-7.** Пользуясь марочником сталей и сплавов, выбрать марку стали для изготовления тяжело нагруженного быстроходного червяка станочного суппорта (рис. 1.7). Производство редукторов серийное.



**Рис. 1.7.** Быстроходный червяк:  
*а* — общий вид червячной передачи; *б* — эскиз червяка

При выборе стали использовать данные согласно выданному варианту домашнего задания (табл. 1.7): основные размеры червяка, твердость поверхности трения HRC и глубина упрочненного слоя  $\Delta h$  в указанных пределах, предел текучести сердцевины  $\sigma_{0,2}$  (не менее).

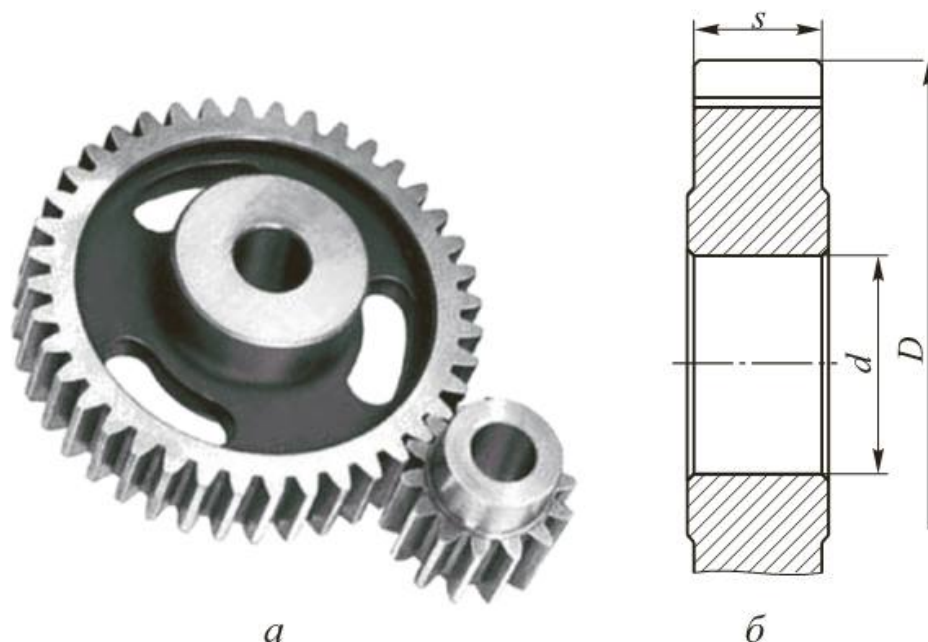
Обосновать сделанный выбор стали, рекомендовать упрочняющую обработку червяка, которая обеспечит его работоспособность в предлагаемых условиях.

Таблица 1.7

**Исходные данные**

| Вариант | $D$ , мм | $d$ , мм | $L$ , мм | $s$ , мм | HRC   | $\Delta h$ , мм | $\sigma_{0,2}$ , МПа |
|---------|----------|----------|----------|----------|-------|-----------------|----------------------|
| а       | 80       | 40       | 310      | 70       | 58–61 | 1,0–1,2         | 800                  |
| б       | 90       | 65       | 405      | 105      | 59–62 | 1,2–1,4         | 900                  |
| в       | 70       | 45       | 280      | 60       | 59–61 | 0,9–1,1         | 930                  |
| г       | 60       | 30       | 220      | 50       | 60–63 | 1,0–1,2         | 1000                 |
| д       | 80       | 50       | 380      | 90       | 58–62 | 1,2–1,4         | 700                  |

**Задание МД-8.** Пользуясь марочником сталей и сплавов, выбрать марку стали для изготовления шестерни редуктора открытого типа для привода транспортной ленты, эксплуатируемой на горно-обогатительном комбинате (рис. 1.8). Производство редукторов единичное.



**Рис. 1.8.** Шестерня редуктора открытого типа:  
*а* — общий вид зубчатого зацепления; *б* — эскиз шестерни редуктора

При выборе стали использовать данные согласно выданному варианту домашнего задания (табл. 1.8): основные размеры шестерни, твердость поверхности зубьев HRC и глубина упрочненного слоя  $\Delta h$  в указанных пределах, твердость сердцевины HB (не менее).

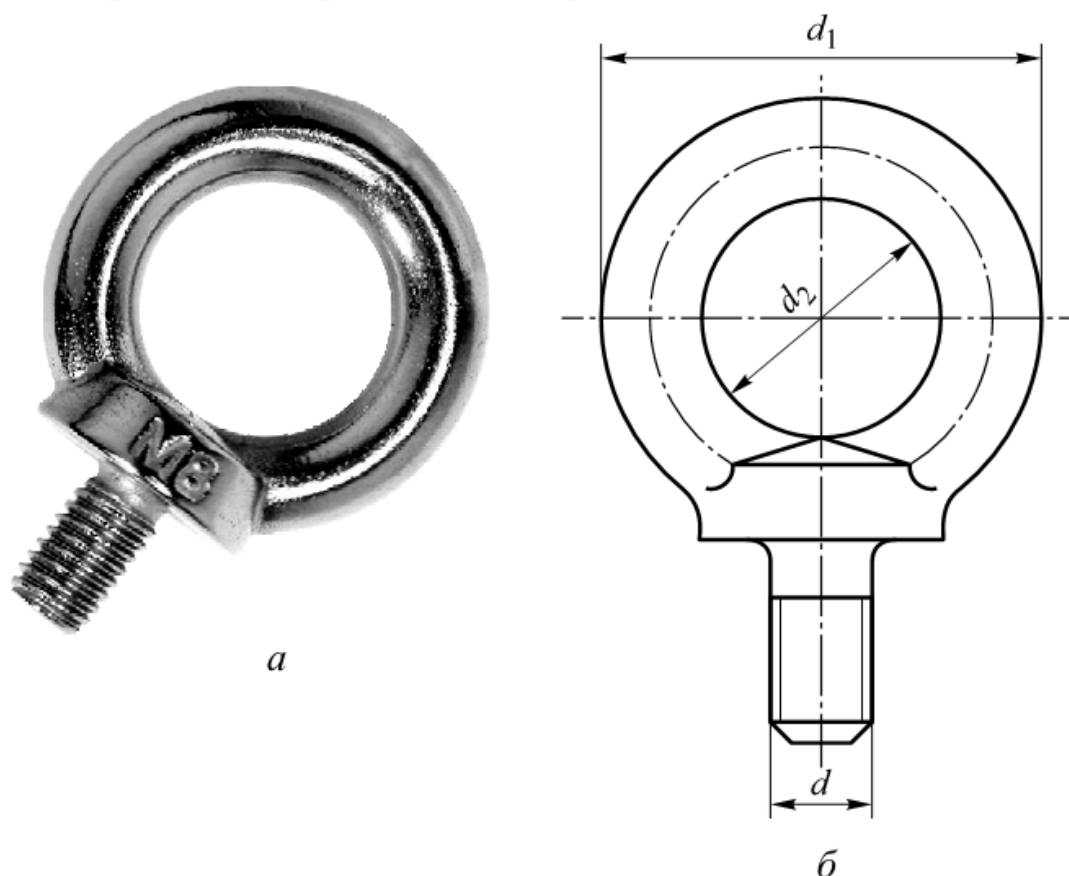
Обосновать сделанный выбор стали, рекомендовать обработку шестерни, которая обеспечит ее работоспособность в предлагаемых условиях.

Таблица 1.8

**Исходные данные**

| Вариант | $D$ , мм | $d$ , мм | $s$ , мм | HRC   | $\Delta h$ , мм | HB  |
|---------|----------|----------|----------|-------|-----------------|-----|
| а       | 88       | 48       | 28       | 58–62 | 0,9–1,1         | 340 |
| б       | 150      | 90       | 45       | 58–60 | 0,8–1,0         | 330 |
| в       | 200      | 136      | 70       | 59–63 | 0,7–0,9         | 350 |
| г       | 210      | 118      | 62       | 60–64 | 1,1–1,3         | 300 |
| д       | 250      | 150      | 80       | 57–61 | 0,9–1,1         | 350 |

**Задание МД-9.** Пользуясь марочником сталей и сплавов, выбрать марку стали для изготовления рым-болта, предназначенного для такелажных работ при монтаже конструкций и деталей различного веса (рис. 1.9). Производство рым-болтов массовое.



**Рис. 1.9.** Рым-болт:  
а — общий вид; б — эскиз

При выборе стали использовать данные согласно выданному варианту домашнего задания (табл.1.9): основные размеры рым-болта, предел текучести сердцевины  $\sigma_{0,2}$  (не менее), ударная вязкость КСУ (не менее).

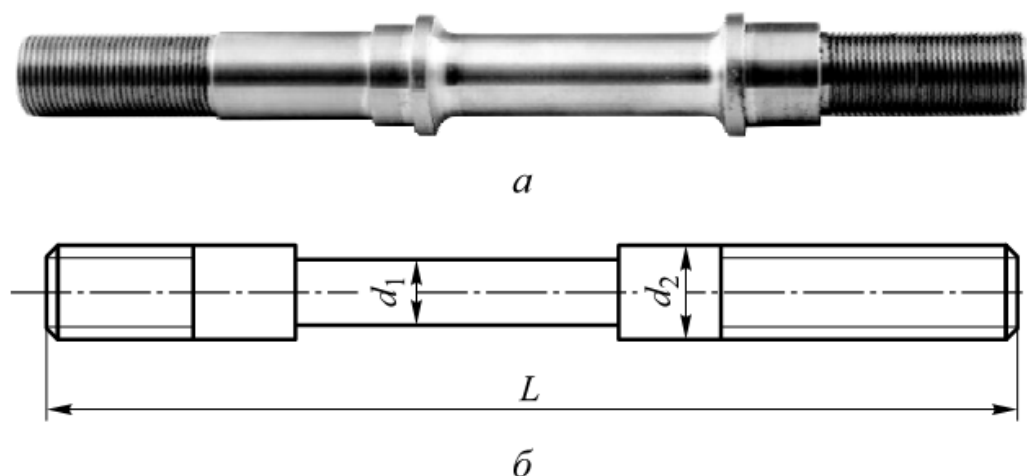
Обосновать сделанный выбор стали, рекомендовать упрочняющую обработку рым-болта, которая обеспечит его работоспособность в предлагаемых условиях.

Таблица 1.9

**Исходные данные**

| Вариант | $d$ , мм | $d_1$ , мм | $d_2$ , мм | $\sigma_{0,2}$ , МПа | КСУ, Дж/см <sup>2</sup> |
|---------|----------|------------|------------|----------------------|-------------------------|
| а       | 8        | 36         | 20         | 500                  | 130                     |
| б       | 18       | 63         | 35         | 900                  | 70                      |
| в       | 24       | 90         | 50         | 1050                 | 100                     |
| г       | 36       | 126        | 70         | 1000                 | 90                      |
| д       | 48       | 162        | 90         | 900                  | 60                      |

**Задание МД-10.** Пользуясь марочником сталей и сплавов, выбрать марку стали для изготовления оси колеса велосипеда дорожно-шоссейного класса (рис. 1.10). Производство осей серийное.



**Рис. 1.10.** Ось колеса велосипеда:  
*a* — общий вид велосипедной оси; *б* — эскиз велосипедной оси

При выборе стали использовать данные согласно выданному варианту домашнего задания (табл. 1.10): основные размеры оси, твердость поверхности HRC в указанных пределах, предел текучести сердцевины  $\sigma_{0,2}$  (не менее), ударная вязкость KCU (не менее).

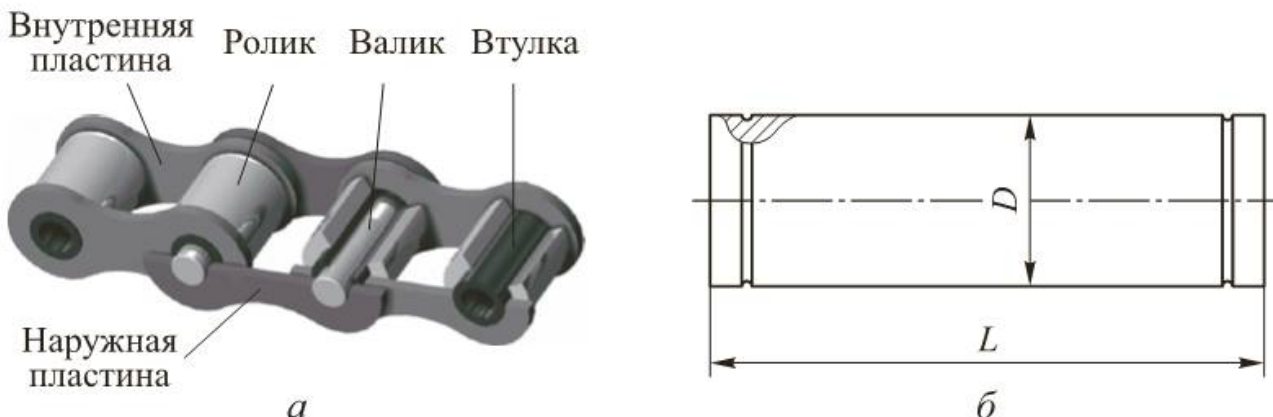
Обосновать сделанный выбор стали, рекомендовать упрочняющую обработку оси, которая обеспечит ее работоспособность в предлагаемых условиях.

Таблица 1.10

**Исходные данные**

| Вариант | $d_1$ , мм | $d_2$ , мм | $L$ , мм | HRC   | $\sigma_{0,2}$ , МПа | KCU, Дж/см <sup>2</sup> |
|---------|------------|------------|----------|-------|----------------------|-------------------------|
| а       | 10         | 16         | 140      | 51–54 | 750                  | 100                     |
| б       | 12         | 17         | 150      | 51–54 | 650                  | 130                     |
| в       | 14         | 19         | 150      | 49–52 | 850                  | 130                     |
| г       | 18         | 23         | 180      | 48–53 | 750                  | 160                     |
| д       | 20         | 24         | 200      | 54–57 | 760                  | 80                      |

**Задание МД-11.** Пользуясь марочником сталей и сплавов, выбрать марку стали для изготовления валика приводной цепи эскалара (рис. 1.11). Производство валиков серийное.



**Рис. 1.11.** Валик приводной цепи эскалатора:  
*а* — общий вид фрагмента приводной цепи; *б* — эскиз валика

При выборе стали использовать данные согласно выданному варианту домашнего задания (табл. 1.11): основные размеры валика, твердость поверхности HRC в указанных пределах, предел текучести сердцевины  $\sigma_{0.2}$  (не менее).

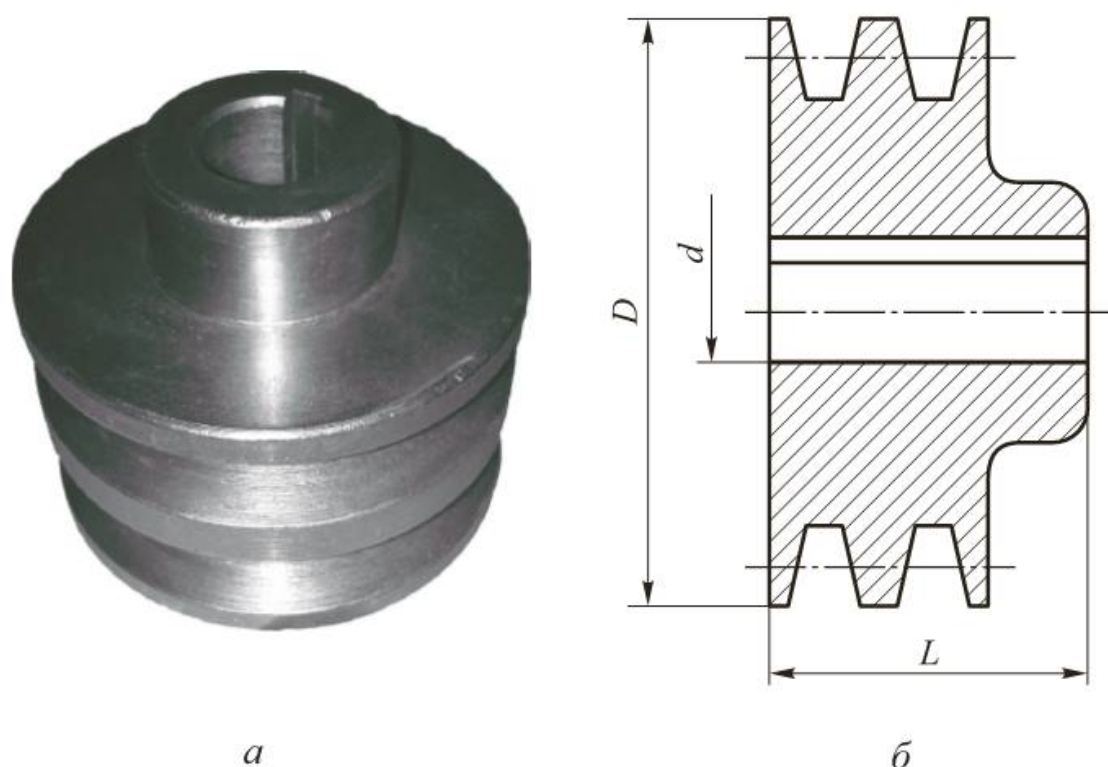
Обосновать сделанный выбор стали, рекомендовать упрочняющую обработку валика, которая обеспечит его работоспособность в предлагаемых условиях.

Таблица 1.11

## Исходные данные

| Вариант | $D$ , мм | $L$ , мм | HRC   | $\sigma_{0,2}$ , МПа |
|---------|----------|----------|-------|----------------------|
| а       | 15       | 60       | 60–62 | 1150                 |
| б       | 19       | 58       | 45–50 | 730                  |
| в       | 25       | 105      | 52–54 | 920                  |
| г       | 46       | 150      | 51–54 | 1100                 |
| д       | 65       | 200      | 54–56 | 780                  |

**Задание МД-12.** Пользуясь марочником сталей и сплавов, выбрать марку стали для изготовления шкива клиноременной передачи привода генератора (рис. 1.12). Производство шкивов серийное.



**Рис. 1.12.** Шкив клиноременной передачи привода генератора:  
а — общий вид шкива; б — эскиз шкива

При выборе стали использовать данные согласно выданному варианту домашнего задания (табл. 1.12): основные размеры шкива, предел текучести сердцевины  $\sigma_{0,2}$  (не менее), твердость сердцевины HB (не менее).

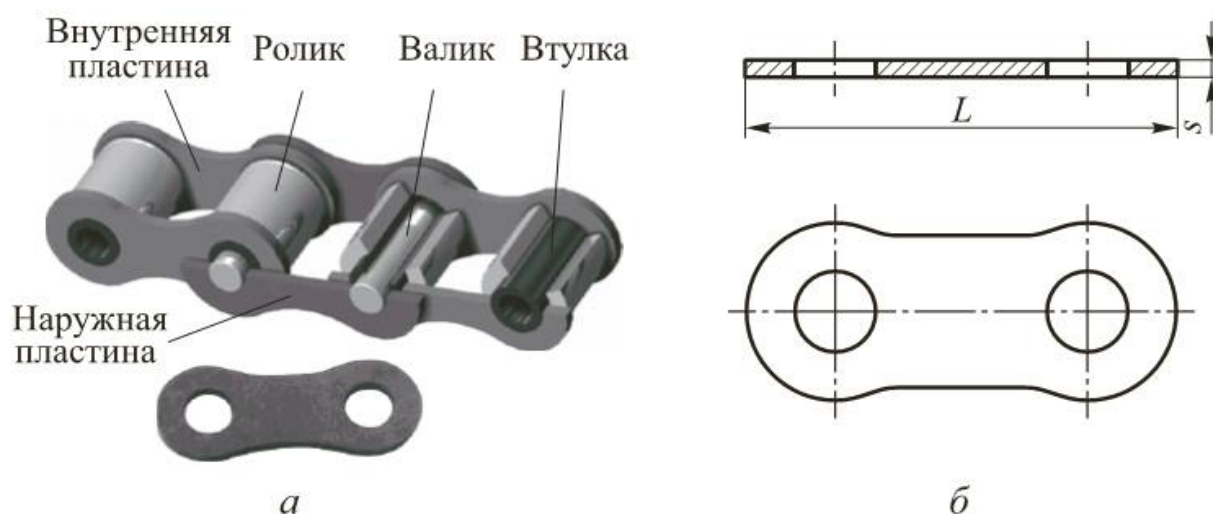
Обосновать сделанный выбор стали, рекомендовать упрочняющую обработку шкива, которая обеспечит его работоспособность в предлагаемых условиях.

Таблица 1.12

**Исходные данные**

| Вариант | $D$ , мм | $d$ , мм | $L$ , мм | $\sigma_{0,2}$ , МПа | HB  |
|---------|----------|----------|----------|----------------------|-----|
| а       | 52       | 20       | 42       | 900                  | 300 |
| б       | 66       | 24       | 47       | 1100                 | 360 |
| в       | 90       | 30       | 54       | 1200                 | 380 |
| г       | 102      | 32       | 58       | 1050                 | 300 |
| д       | 134      | 36       | 60       | 950                  | 280 |

**Задание МД-13.** Пользуясь марочником сталей и сплавов, выбрать марку стали для изготовления пластины тяжело нагруженной приводной роликовой цепи эскалатора (рис. 1.13). Производство пластин серийное.



**Рис. 1.13.** Пластина тяжело нагруженной приводной роликовой цепи эскалатора:

*а* — общий вид фрагмента приводной цепи; *б* — эскиз пластины

При выборе стали использовать данные согласно выданному варианту домашнего задания (табл. 1.13): основные размеры пластины, предел текучести сердцевины  $\sigma_{0,2}$  (не менее), ударная вязкость КСУ (не менее).

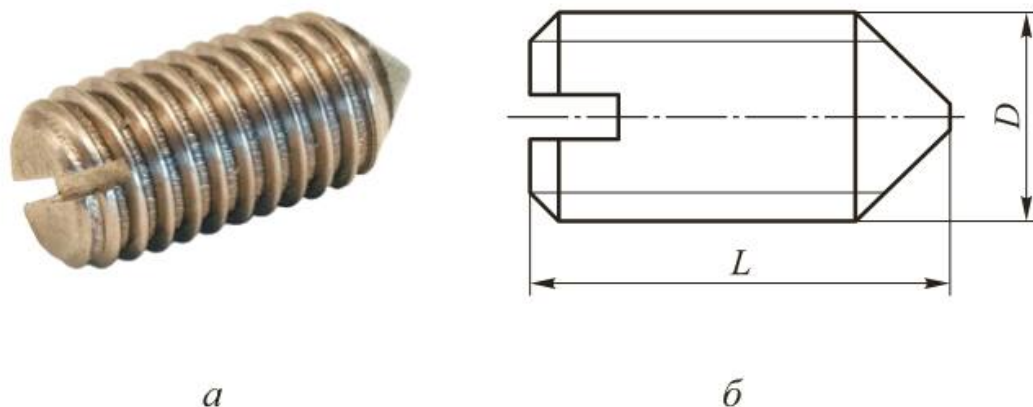
Обосновать сделанный выбор стали, рекомендовать упрочняющую обработку пластины, которая обеспечит ее работоспособность в предлагаемых условиях.

Таблица 1.13

**Исходные данные**

| Вариант | $L$ , мм | $s$ , мм | $\sigma_{0,2}$ , МПа | КСУ, Дж/см <sup>2</sup> |
|---------|----------|----------|----------------------|-------------------------|
| а       | 75       | 5        | 900                  | 130                     |
| б       | 58       | 4        | 1100                 | 80                      |
| в       | 100      | 6        | 750                  | 150                     |
| г       | 60       | 5        | 900                  | 90                      |
| д       | 50       | 3        | 800                  | 45                      |

**Задание МД-14.** Пользуясь марочником сталей и сплавов, выбрать марку стали для изготовления регулировочного винта измерительного прибора высокого класса точности (рис. 1.14). Производство приборов мелкосерийное.



**Рис. 1.14.** Регулировочный винт измерительного прибора:  
*a* — общий вид регулировочного винта; *б* — эскиз винта

При выборе стали использовать данные согласно выданному варианту домашнего задания (табл. 1.14): основные размеры винта, твердость HRC в сердцевине и на поверхности в указанных пределах.

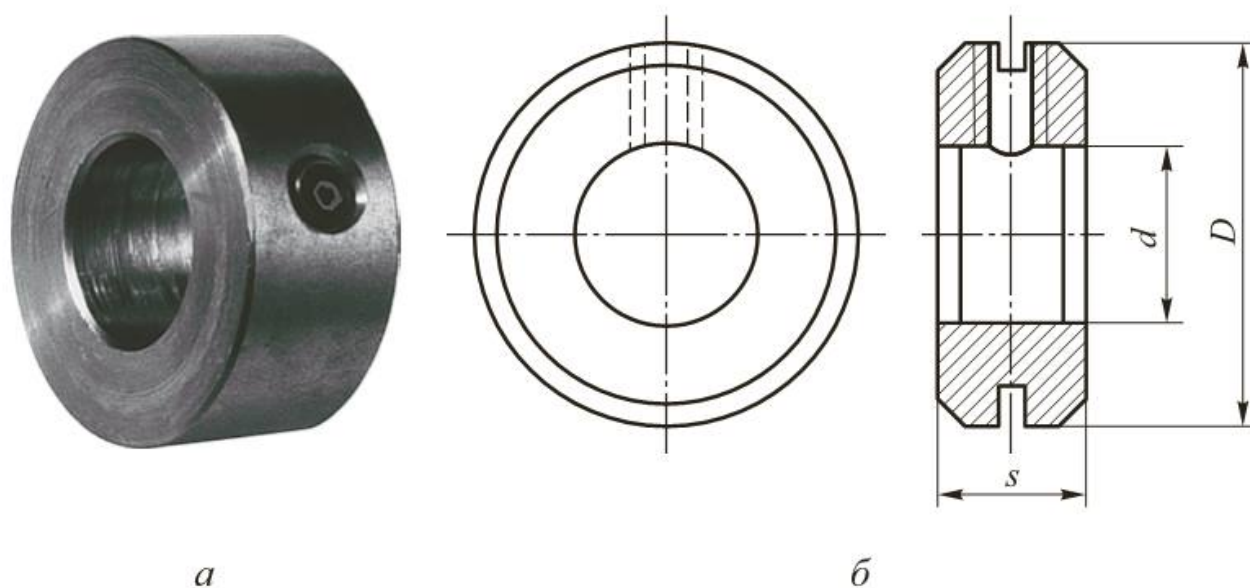
Обосновать сделанный выбор стали, рекомендовать упрочняющую обработку винта, которая обеспечит его работоспособность в предлагаемых условиях.

*Таблица 1.14*

**Исходные данные**

| Вариант | $D$ , мм | $L$ , мм | HRC (сердцевины) | HRC (поверхности) |
|---------|----------|----------|------------------|-------------------|
| а       | 13       | 28       | 45–50            | 65–66             |
| б       | 15       | 45       | 48–50            | 62–63             |
| в       | 15       | 100      | 57–60            | 63–65             |
| г       | 12       | 18       | 38–42            | 63–65             |
| д       | 6        | 9        | 63–66            | 63–66             |

**Задание МД-15.** Пользуясь марочником сталей и сплавов, выбрать марку стали для изготовления установочного кольца (рис. 1.15). Производство колец серийное.



**Рис. 1.15.** Установочное кольцо:

*а* — общий вид установочного кольца; *б* — эскиз установочного кольца

При выборе стали использовать данные согласно выданному варианту домашнего задания (табл. 1.15): основные размеры кольца, предел текучести стали  $\sigma_{0,2}$  (не менее), твердость стали HB (не менее), ударная вязкость KCU (не менее).

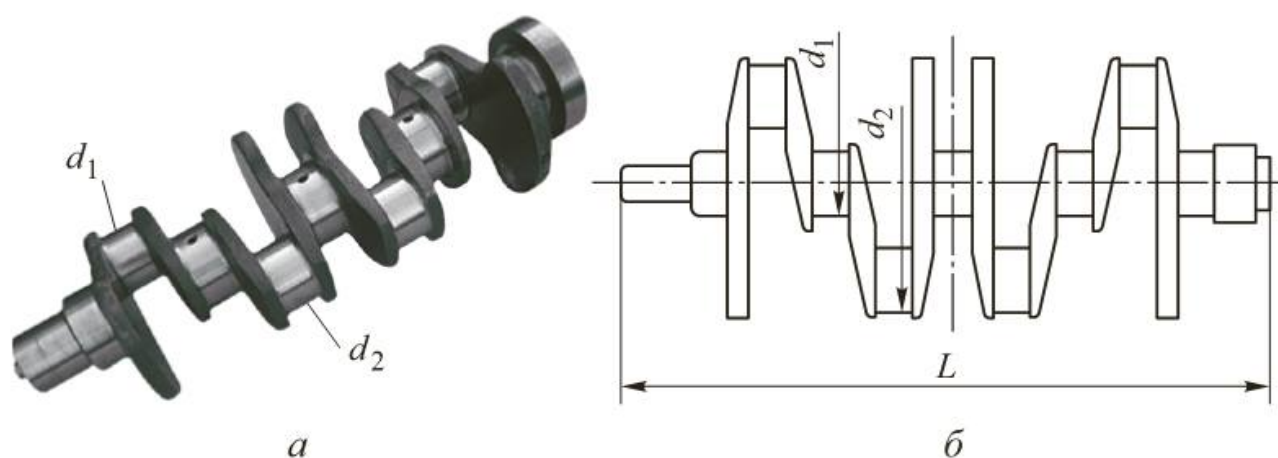
Обосновать сделанный выбор стали, рекомендовать упрочняющую обработку кольца, которая обеспечит его работоспособность в предлагаемых условиях.

*Таблица 1.15*

**Исходные данные**

| Вариант | $D$ , мм | $d$ , мм | $s$ , мм | $\sigma_{0,2}$ , МПа | HB  | KCU, Дж/см <sup>2</sup> |
|---------|----------|----------|----------|----------------------|-----|-------------------------|
| а       | 42       | 20       | 10       | 750                  | 250 | 100                     |
| б       | 48       | 30       | 16       | 800                  | 280 | 80                      |
| в       | 90       | 50       | 14       | 1000                 | 320 | 50                      |
| г       | 160      | 95       | 40       | 900                  | 270 | 60                      |
| д       | 250      | 180      | 30       | 950                  | 300 | 100                     |

**Задание МД-16.** Пользуясь марочником сталей и сплавов, выбрать марку стали для изготовления коленчатого вала мощного дизельного двигателя (рис. 1.16). Производство двигателей серийное.



**Рис. 1.16.** Коленчатый вал дизельного двигателя:

*а* — общий вид коленчатого вала; *б* — эскиз коленчатого вала ( $d_1$  — диаметр коренной шейки,  $d_2$  — диаметр шатунной шейки)

При выборе стали использовать данные согласно выданному варианту домашнего задания (табл. 1.16): основные размеры коленчатого вала, твердость поверхности шеек HRC в указанных пределах, предел текучести сердцевины  $\sigma_{0,2}$  (не менее), ударная вязкость KCU (не менее).

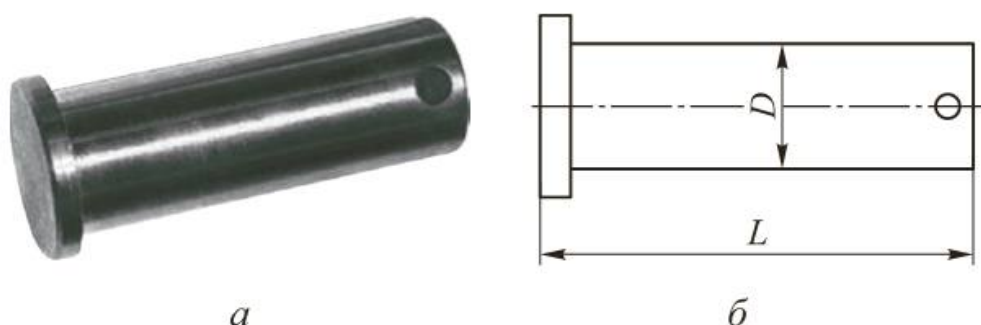
Обосновать сделанный выбор стали, рекомендовать упрочняющую обработку коленчатого вала, которая обеспечит его работоспособность в предлагаемых условиях.

Таблица 1.16

**Исходные данные**

| Вариант | $L$ , мм | $d_1$ , мм | $d_2$ , мм | HRC   | $\sigma_{0,2}$ , МПа | KCU, Дж/см <sup>2</sup> |
|---------|----------|------------|------------|-------|----------------------|-------------------------|
| а       | 500      | 42         | 30         | 51–53 | 1040                 | 85                      |
| б       | 750      | 60         | 55         | 47–51 | 1150                 | 90                      |
| в       | 800      | 80         | 70         | 57–59 | 1100                 | 80                      |
| г       | 1320     | 97         | 85         | 52–55 | 780                  | 45                      |
| д       | 1500     | 90         | 75         | 58–61 | 1050                 | 85                      |

**Задание МД-17.** Пользуясь марочником сталей и сплавов, выбрать марку стали для изготовления колесной оси тележки различной грузоподъемности (рис. 1.17). Производство тележек мелкосерийное.



**Рис. 1.17.** Колесная ось тележки:  
*а* — общий вид оси колеса тележки; *б* — эскиз оси

При выборе стали использовать данные согласно выданному варианту домашнего задания (табл. 1.17): основные размеры колесной оси тележки, предел текучести сердцевины  $\sigma_{0,2}$  (не менее), твердость сердцевины HB (не менее), ударная вязкость KCU (не менее).

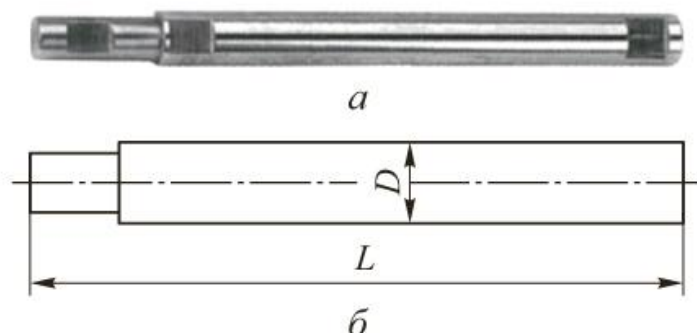
Обосновать сделанный выбор стали, рекомендовать упрочняющую обработку оси, которая обеспечит ее работоспособность в предлагаемых условиях.

Таблица 1.17

**Исходные данные**

| Вариант | $L$ , мм | $D$ , мм | $\sigma_{0,2}$ , МПа | HB  | KCU, Дж/см <sup>2</sup> |
|---------|----------|----------|----------------------|-----|-------------------------|
| а       | 70       | 17       | 800                  | 290 | 100                     |
| б       | 80       | 20       | 900                  | 320 | 70                      |
| в       | 115      | 29       | 950                  | 310 | 110                     |
| г       | 130      | 33       | 800                  | 260 | 75                      |
| д       | 150      | 37       | 1050                 | 290 | 50                      |

**Задание МД-18.** Пользуясь марочником сталей и сплавов, выбрать марку стали для изготовления вала ротора электродвигателя (рис. 1.18). Производство электродвигателей серийное.



**Рис. 1.18.** Вал ротора электродвигателя:  
 $a$  — общий вид вала ротора;  $б$  — эскиз вала

При выборе стали использовать данные согласно выданному варианту домашнего задания (табл. 1.18): основные размеры вала, предел текучести сердцевины  $\sigma_{0,2}$  (не менее), твердость сердцевины HB (не менее).

Обосновать сделанный выбор стали, рекомендовать упрочняющую обработку вала, которая обеспечит его работоспособность в предлагаемых условиях.

Таблица 1.18

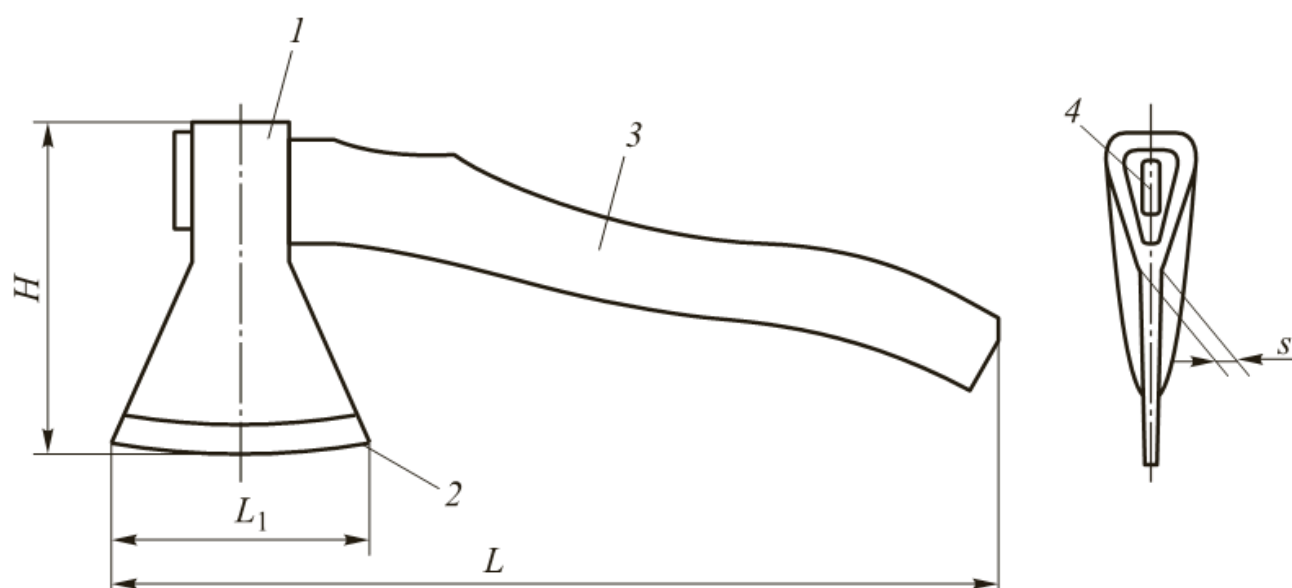
**Исходные данные**

| Вариант | $L$ , мм | $D$ , мм | $\sigma_{0,2}$ , МПа | HB  |
|---------|----------|----------|----------------------|-----|
| а       | 96       | 17       | 800                  | 280 |
| б       | 192      | 35       | 1000                 | 330 |
| в       | 220      | 40       | 940                  | 300 |
| г       | 250      | 45       | 1150                 | 400 |
| д       | 390      | 80       | 900                  | 300 |

## 2. Пример выполнения домашнего задания

Рекомендуемая последовательность основных этапов выполнения домашнего задания и их примерное содержание подробно рассмотрены на примере выполнения задания по выбору стали и упрочняющей термической обработки для условного изделия — хорошо всем известного строительного топора.

**Задание МД-0, вариант в.** Пользуясь марочником сталей и сплавов, выбрать марку стали для изготовления тяжелого строительного топора, предназначенного для работы в условиях климатических температур (от  $+40$  до  $-60$  °С) (рис. 2.1). Производство топоров массовое.



**Рис. 2.1.** Эскиз строительного топора:  
1 — обух; 2 — лезвие; 3 — топориче; 4 — клин

Исходные данные для выполнения задания (табл. 2.1, вариант в): основные размеры топора, твердость рабочего лезвия топора HRC на высоте до 25 мм от края полотна, ударная вязкость KCU при  $-60$  °С, твердость обуха топора в зоне крепления рукоятки HRC.

Обосновать сделанный выбор стали, рекомендовать упрочняющую термическую обработку строительного топора, которая обеспечит его работоспособность в предлагаемых условиях.

Таблица 2.1

Исходные данные

| Вариант | Максимальное сечение стали в зоне обуха $s$ , мм | Твердость HRC рабочего лезвия топора | Твердость HRC стали в зоне обуха топора | Ударная вязкость KCU при $-60$ °С, Дж/см <sup>2</sup> |
|---------|--------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| в       | 12                                               | 53–56                                | Не более 45                             | Более 20                                              |

Ниже приведены рекомендуемые этапы выполнения домашнего задания.

### **Этап 1. Определение особенностей работы изделия при эксплуатации, их анализ в соответствии с условиями задания.**

На этом этапе важно определить характер напряженного состояния металла в изделии (статическое, циклическое или ударное нагружение), уровень силового воздействия и установить наличие проблемных зон изделия — зон трения, зон возможного коробления при термической обработке и т. д. По результатам такого анализа может быть установлен тот главный фактор, который будет определять работоспособность изделия, а значит, будет основным критерием при выборе стали. Существенное значение при выборе материала, кроме того, будет иметь также характер производства изделия (массовое, серийное, единичное). Такой многофакторный анализ позволит точнее сформулировать требования к материалу, из которого изделие может быть изготовлено, и разработать алгоритм поиска нужной стали.

Строительный топор — это массовый ручной плотницкий инструмент, предназначенный для обработки древесины за счет ударного нагружения (рубки). В этой связи лезвие топора должно быть острым и сохранять свою геометрию в ходе длительной эксплуатации, т. е. обладать износостойкостью в сочетании с достаточной ударной вязкостью. Важно, чтобы при необходимости лезвие топора можно было заточить. Вполне очевидно, что в зоне лезвия должна быть обеспечена высокая твердость стали, причем не методами поверхностной упрочняющей обработки, а путем закалки на требуемый уровень твердости с получением структуры мартенсита (по условиям задачи 53–56 HRC).

В противоположность лезвию основное полотно и обух топора должны главным образом сопротивляться небольшим ударным нагрузкам, поскольку рабочее сечение металла там больше, а напряжения существенно меньше. Следует иметь в виду, что топор — ручной инструмент: при его эксплуатации в принципе уровень рабочих нагрузок на изделие не может превышать развиваемого человеком усилия, которое обычно сопоставимо с его массой (~100 кг). Применительно к стальному обуху топора можно считать такие нагрузки весьма небольшими (по условиям задания уровень твер-

дости менее 45 HRC). Значит, работоспособность изделия вполне может обеспечить сталь с уровнем условного предела текучести  $\sigma_{0,2} > 300$  МПа и ударной вязкостью  $KCU > 20$  Дж/см<sup>2</sup>. Известно [3], что наилучшее сочетание достаточного упрочнения и вязкости стали обеспечивает выполнение закалки с последующим высоким отпуском (применяемый термин — улучшение).

*Таким образом, краткий анализ условий работы топора показывает, что выбираемая сталь должна иметь разные механические свойства в отдельных зонах, что может быть достигнуто только с помощью комбинированной термической обработки.*

Следует также учитывать, что топор — изделие весьма сложной геометрии, имеет участки разнотолщинности в зоне обуха (концентраторы напряжения), кроме того, необходимо сохранить его плоскостность в тонком сечении при проведении термической обработки. Исходя из изложенного выше, можно сделать вывод о том, что при проведении упрочняющей термической обработки топора нельзя будет использовать особо скоростное охлаждение (в воде).

Проведенный анализ также показывает, что при весьма сложной геометрии топора выбираемая сталь должна иметь: высокую твердость в зоне лезвия, причем во всем объеме лезвия, и сочетание прочности и вязкости — в зоне обуха. В такой ситуации очевидно, что для выбора стали, предназначенной для изготовления топора, в качестве решающего (определяющего) фактора следует рассматривать требование высокой твердости рабочего лезвия (53–56 HRC), которая должна обеспечить необходимый уровень износостойкости топора при длительной работе. Хорошо известно, что уровень максимальной твердости, достигаемый в стали при ее упрочняющей термической обработке (при закалке), определяется содержанием в ней углерода. Поэтому вначале следует провести поиск такой концентрации углерода в стали, которая может гарантировать достижение в ней при закалке требуемого уровня твердости 53–56 HRC, а затем для найденного содержания углерода провести поиск уже конкретной марки стали с учетом легирующих компонентов и качества выплавки, которая подойдет по прокаливаемости, а после термической обработки будет гарантировать выполнение всех других условий задания.

Таким образом, приходим к выводу о том, что выбор стали для изготовления топора необходимо осуществлять в два этапа, т. е. на этапе 2 и этапе 3.

*Примечание.* Если по результатам анализа условий работы изделия и особенностей его геометрии сразу становится очевидным направление поиска стали, необходимой для его изготовления (например, среди цементируемых, улучшаемых или азотируемых сталей), то можно переходить уже непосредственно к этапу 3 выполнения задания.

## **Этап 2. Выбор концентрации углерода, гарантирующей достижение требуемого уровня твердости при закалке стали.**

Требуемый уровень твердости лезвия топора (53–56 HRC) — весьма высокий для сталей, поэтому поиск следует начать с концентрации углерода 0,4 %. С использованием марочника сталей и сплавов [6] необходимо проанализировать углеродистые конструкционные качественные стали, отличающиеся только концентрацией углерода, и сопоставить максимальную твердость, которую можно получить в них при закалке. Такие сведения для большинства сталей можно найти в соответствующих таблицах прокаливаемости, если ориентироваться на минимальное расстояние от торца образца (обычно это 1,5 мм). Одновременно следует обратить внимание на уровень прокаливаемости этих углеродистых сталей в масле, поскольку сложная геометрия топора диктует необходимость соблюдения плоскостности его рабочей зоны, а значит, *исключает применение при закалке резкого охлаждения в воде.*

Данные проведенного анализа представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

### **Твердость и прокаливаемость углеродистых сталей в зависимости от содержания в них углерода**

| Содержание С в стали, % | HRC после закалки | Прокаливаемость в масле, мм |
|-------------------------|-------------------|-----------------------------|
| 0,40                    | 50,5–58           | 8–15                        |
| 0,45                    | 50,5–59           | 6–12                        |
| 0,55                    | 54–63             | 9–16                        |

Сопоставляя эти данные, можно сделать следующие предварительные выводы:

1) сталь, предназначенная для изготовления топора, должна содержать не менее 0,55 % углерода, что должно гарантировать получение в рабочем лезвии необходимого уровня твердости после упрочняющей термической обработки;

2) углеродистая сталь для изготовления данного топора явно не подходит, поскольку в таком случае не гарантируется сквозная про-

каливаемость стали в масле в максимальном сечении в зоне обуха (задано 12 мм);

3) сталь для заданного изделия может быть легирована весьма небольшим количеством легирующих элементов, поскольку уровень прокаливаемости углеродистой стали в масле уже близок к требуемому (в среднем около 10 мм). С учетом условия задания о массовом характере производства топора это должны быть недорогие легирующие компоненты, например кремний и хром, количество которых, по-видимому, может быть не более 1 % [3].

Таким образом, проведенный на этом этапе анализ показывает, что для изготовления строительного топора целесообразно использовать низколегированную сталь с содержанием углерода (0,55...0,60 %). С учетом этого вывода на следующем этапе выполнения задания должен быть проведен поиск конкретной марки стали.

### **Этап 3. Выбор конкретной марки стали, которая по всем параметрам будет соответствовать требованиям задания.**

Эта задача также является весьма многофакторной. Поскольку типичный класс сталей для изготовления заданного изделия в принципиальном плане определен на этапе 1 (или 2), значит, диапазон концентрации углерода в стали известен. На этом этапе предстоит определить оптимальный комплекс легирующих элементов и количество каждого компонента, исходя из требований по прокаливаемости стали. Условия охлаждения при закалке диктуются не только максимальным сечением детали, но и особенностями ее геометрии, возможным короблением или поводкой. При выборе марки стали важно учитывать также характер производства изделия (наличие или отсутствие дефицитных компонентов), степень его ответственности (качественная или высококачественная сталь требуется в конкретном случае).

С использованием марочника сталей и сплавов следует провести поиск низколегированной стали с повышенным содержанием углерода (0,55...0,60 %), способной прокаливаться в масле на глубину не менее 12 мм. Стали с повышенным содержанием углерода, как известно, представлены в группе пружинных и в группе инструментальных сталей. Поскольку в работе топора используются ударные нагрузки и решающее значение имеет высокая из-

носостойкость рабочей кромки, поиск нужной марки должен быть проведен именно среди инструментальных сталей, для которых эти факторы — важнейшие эксплуатационные параметры.

По сочетанию требований, сформулированных на этапе 2 (содержание углерода в диапазоне 0,55...0,60 % и небольшое количество легирующих элементов), подходит несколько сталей различного назначения. Наиболее типичные стали этой группы представлены в табл. 2.3: сталь 6ХС, используемая для рубильных ножей и пневматических зубил, сталь 6ХВГ (для пуансонов и штампов), сталь 60ХГ (для прокатных валков). Очевидно, что валковые стали для топора применять не стоит, так как они не предназначены для ударного нагружения.

*Таблица 2.3*

**Свойства и применение выбранных сталей**

| Марка стали | Прокаливаемость в масле, мм          | Максимальная твердость HRC после закалки | Типичное применение                                                            |
|-------------|--------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 60ХГ        | 34–68                                | 57                                       | Рабочие валки для горячей прокатки металлов                                    |
| 6ХС         | Нет сведений (для стали 33ХС — 30)   | 58–59                                    | Пневматические зубила, рубильные ножи, штампы для холодной обработки давлением |
| 6ХВГ        | Нет сведений (для стали ХВГ — 15–70) | 57                                       | Пуансоны сложной формы для холодной обработки давлением                        |

Анализируя данные, приведенные в табл. 2.3, можно сделать вывод о том, что из двух указанных штамповых сталей (6ХС и 6ХВГ) предпочтение следует отдать стали 6ХС как более экономно легированной (что важно для массового производства), не содержащей дефицитный вольфрам. Эта сталь, как следует из марочника сталей и сплавов, применяется именно для изготовления ударного инструмента, она гарантирует возможность получения при закалке требуемого уровня твердости 53–56 HRC и может выдерживать ударные нагрузки до 21 Дж/см<sup>2</sup> при температурах до –60 °С.

Сведения о прокаливаемости в масле для стали 6ХС в марочнике отсутствуют, поэтому допустимо использовать эту характеристику стали такой же системы легирования, но с меньшим содержани-

ем углерода, т. е. для стали 33ХС. Очевидно, что по прокаливаемости сталь 6ХС безусловно будет удовлетворять требованиям задачи. Аналогичное решение можно найти и по стали 6ХВГ.

Таким образом, с использованием марочника сталей и сплавов на этапе 3 окончательно выбираем сталь 6ХС, которая по уровню достигаемой твердости и по прокаливаемости в масле вполне удовлетворяет требованиям задания. Ее химический состав по основным компонентам приведен в табл. 2.4.

Таблица 2.4

**Химический состав стали 6ХС, % (мас.)**

| C         | Si        | Mn        | Cr        | S      | P      |
|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|
| 0,60–0,70 | 0,60–1,00 | 0,15–0,40 | 1,00–1,30 | < 0,03 | < 0,03 |

Следует отметить, что эта сталь достаточно высокого качества: содержание примесей серы и фосфора в ней не более 0,03 % (каждого элемента), что имеет значение для надежной работы изделия при ударном нагружении, особенно в условиях низких температур (до –60 °С).

Зная точный химический состав стали, можно приступить к разработке режима ее упрочняющей термической обработки применительно к конкретному изделию — заданному строительному топору.

**Этап 4. Разработка режима упрочняющей термической обработки выбранной стали в соответствии с требованиями задания.**

Путь реализации в стали требуемых свойств в общем виде определен на стадии анализа условий работы изделия, т. е. на этапе 1. Типичные решения, как правило, предполагают проведение цементации, азотирования, улучшения, закалки определенной зоны детали на максимальную твердость или их комбинацию. На этапе 4 необходимо определить конкретные режимы проведения каждой операции упрочняющей обработки, обосновать условия их выбора и подтвердить их соответствие требованиям задания.

В соответствии с заданием к свойствам материала топора предъявляются весьма сложные требования. Рабочая часть лезвия должна обладать высокой твердостью для обеспечения износостойкости, а остальная часть лезвия и обух должны быть устойчивы против ударного нагружения, т. е. иметь определенный уровень и прочно-

сти, и пластичности. Очевидно, что подобное сочетание свойств в одном изделии представляет собой сложную технологическую задачу. Ее можно решить только путем применения комбинированной термической обработки. Сначала необходимо для всего изделия подобрать вариант объемной закалки и отпуска, обеспечивающий получение требуемой твердости менее 45 HRC (т. е. создать запас вязкости сердцевины обуха), а затем только для рабочей части лезвия выполнить закалку, применяя местный индукционный нагрев с использованием токов высокой частоты (ТВЧ). Такая закалка относительно легко вписывается в автоматизированное производство, что существенно сказывается на себестоимости изделия и вполне реализуемо в условиях массового производства [5].

Для разработки этих режимов упрочняющей термической обработки в качестве ориентиров нужны значения критических точек выбранной стали 6ХС, которая относится к группе доэвтектоидных. Эти сведения представлены в марочнике и приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

**Критические точки стали 6ХС**

| $A_{c1}$ | $A_{c3}$ | $M_n$  |
|----------|----------|--------|
| 770 °С   | 830 °С   | 250 °С |

Доэвтектоидные стали подвергают, как известно [3], полной закалке, и температуру нагрева под закалку определяют исходя из соотношения

$$t_{\text{нагрева}} = A_{c3} + (30...50) \text{ °С}.$$

Для стали 6ХС это соотношение дает расчетную оптимальную температуру закалки 860...880 °С. В марочнике представлены свойства этой стали для варианта закалки при температуре 840...860 °С, что вполне приемлемо и будет далее рассматриваться в качестве ориентира. Учитывая, что выбранная сталь 6ХС — легированная, а закаливаемая деталь имеет сложную форму, охлаждение при проведении закалки следует проводить в масле. Такую же рекомендацию находим и в марочнике. В итоге такой закалки гарантируется получение структуры мартенсита и высокой твердости на уровне  $\geq 57$  HRC.

*Примечание.* Из-за повышенного содержания углерода в стали 6ХС при закалке кроме получения мартенсита в принципе есть небольшая вероятность сохранения также остаточного аустенита. Однако температура

начала мартенситного превращения в ней  $M_n = 250\text{ }^{\circ}\text{C}$  (см. табл. 2.5) — достаточно высокая, поэтому очевидно, что значимого количества остаточного аустенита в этой стали не должно быть и обработку холодом после закалки проводить нет необходимости.

Любая закаленная стальная деталь ввиду быстрого охлаждения имеет высокий уровень закалочных (остаточных) напряжений. Это же касается и объемной закалки топора, учитывая явную разнотолщинность разных зон этого изделия. Поэтому отпуск должен проводиться сразу после закалки (не позднее 1...2 ч) во избежание коробления или растрескивания изделия. По условиям задания твердость обуха топора в зоне крепления рукоятки должна быть не более 45 HRC, что будет гарантировать необходимый запас пластичности и сопротивление ударным нагрузкам. Очевидно, что обе цели (понижение закалочных напряжений и снижение закалочной твердости до нужного уровня) достигаются одновременно точным выбором режима отпуска закаленной стали [3].

Режим отпуска выбирается в соответствии с данными, приведенными в марочнике. Влияние температуры отпуска стали 6ХС на ее механические свойства представлено в табл. 2.6 (закалка при 840...860 °C).

Таблица 2.6

**Влияние температуры отпуска на механические свойства стали 6ХС**

| Температура<br>отпуска, °C | $\sigma_{\text{в}}$ | $\sigma_{0,2}$ | $\delta$ | $\psi$ | KCU,<br>Дж/см <sup>2</sup> | HRC |
|----------------------------|---------------------|----------------|----------|--------|----------------------------|-----|
|                            | МПа                 |                | %        |        |                            |     |
| 200                        | —                   | 2060           | 2        | —      | —                          | 56  |
| 300                        | 2080                | 1910           | 3        | 20     | 24                         | 54  |
| 400                        | 1910                | 1760           | 4        | 25     | 20                         | 52  |
| 500                        | 1400                | 1250           | 8        | 30     | 39                         | 45  |

Как следует из данных, приведенных в табл. 2.6, получение твердости менее 45 HRC должен гарантировать отпуск стали 6ХС при температуре > 500 °C. Таким образом, в соответствии с требованием задания для получения нужного уровня твердости можно рекомендовать отпуск при 520...540 °C. Такой отпуск называется высоким; он полностью снимает закалочные напряжения и обеспечивает в сталях распад мартенсита с образованием дисперсной смеси феррита и цементита, получившей название «сорбит отпуска». Существенно, что показатели пластичности и ударной вязкости

стали при таком отпуске заметно повышаются и оказываются на хорошем уровне. Это очень важно, учитывая ударный характер работы изделия.

В марочнике нет прямых сведений относительно склонности стали 6ХС к обратимой отпускной хрупкости, которая проявляется во многих сталях как раз после отпуска в диапазоне температуры 500...600 °С. Поэтому следует проанализировать другие стали аналогичной системы легирования. Есть сведения, например, о стали 33ХС: она склонна к такой отпускной хрупкости. С учетом этого факта после выбранного режима отпуска при температуре 530 °С следует использовать ускоренное охлаждение изделия из стали 6ХС. Учитывая тонкое сечение металла в лезвии топора, достаточно охлаждать топор после отпуска на воздухе или между стальными плитами. После такой термической обработки сталь 6ХС будет иметь следующий комплекс свойств:  $\sigma_B \approx 1300$  МПа,  $\sigma_{0,2} \approx 1150$  МПа,  $\delta \geq 8 \%$ ,  $KCU \geq 39$  Дж/см<sup>2</sup>, HRC  $\leq 45$ .

Таким образом, объемная упрочняющая термическая обработка топора — фактически «улучшение» [3]: закалка и высокий отпуск. Однако рабочее лезвие топора на высоте до 25 мм должно иметь максимальную твердость: 53–56 HRC. Это требование задания может быть выполнено путем применения дополнительной местной закалки лезвия с использованием индукционного нагрева ТВЧ [5].

Скоростной индукционный нагрев осуществляется при помещении изделия в специальный индуктор, создающий переменное электромагнитное поле высокой частоты [5]. В соответствии с законами электродинамики в изделии возникает индукционный ток, сосредоточенный в тонком слое металла, который разогревается за счет теплоты Джоуля — Ленца. Регулируя частоту поля, можно создать условия, обеспечивающие определенную глубину поверхностного нагрева или полный прогрев тонкого сечения (как в нашем случае). При этом скорость нагрева весьма высока (100...500 °С/с). При таких скоростях нагрева температуры критических точек всех сталей существенно повышаются, поэтому режим скоростной закалки назначается технологом по особым правилам, где главные параметры — скорость и температура нагрева, поскольку собственно выдержку при этом фактически не делают [5].

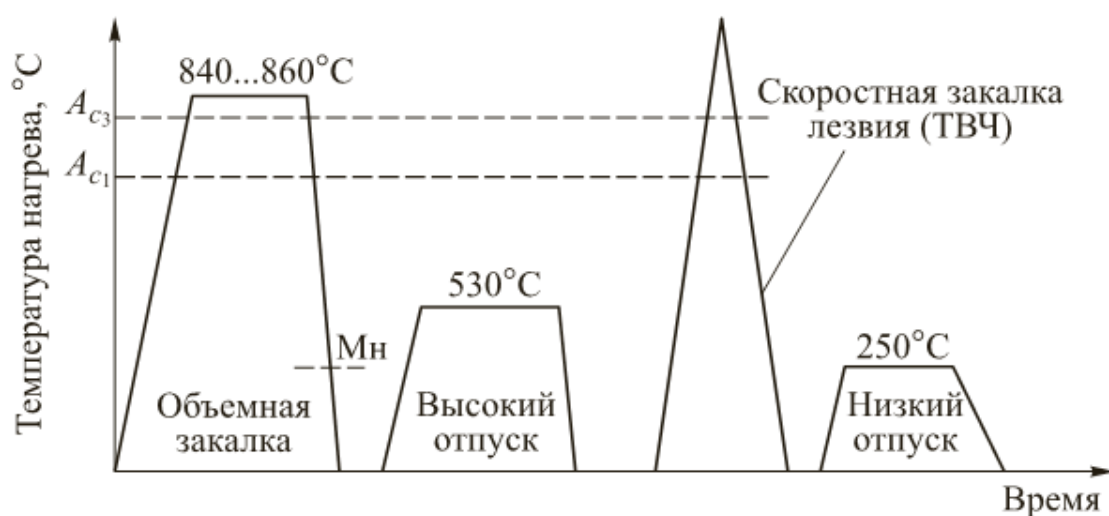
При местном скоростном нагреве детали во многих случаях для закалки не применяют специальную охлаждающую среду, по-

скольку теплоотвод в холодную часть детали вполне обеспечивает высокую скорость охлаждения. Применительно к закалке ТВЧ режущей кромки топора можно (при необходимости) рекомендовать охлаждение его нагретой части между стальными плитами, чтобы сохранить плоскостность лезвия топора.

После скоростной закалки в рабочей части лезвия будет получена структура мартенсита, гарантирующая твердость 58–59 HRC. После такой местной закалки лезвия топор необходимо подвергнуть низкому отпуску при 250 °С (см. табл. 2.6) для достижения в лезвии твердости 53–56 HRC и понижения в нем закалочных (остаточных) напряжений.

Скоростная закалка изделий с использованием ТВЧ — сложная техническая и технологическая проблема, однако применение такой закалки при массовом производстве (как указано в задании) и технически, и экономически обосновано.

Таким образом, для стали 6ХС рекомендуется использовать комбинированную упрочняющую термическую обработку, гарантирующую получение высокой твердости лезвия (53–56 HRC) и твердости полотна и обуха топора не более 45 HRC. Топор может выдерживать ударные нагрузки уровня 39 Дж/см<sup>2</sup> при эксплуатации в условиях 20 °С и до 21 Дж/см<sup>2</sup> при температурах до –60 °С. Полная схема разработанной упрочняющей термической обработки стали 6ХС представлена на рис. 2.2. Она включает объемную закалку при температуре 840...860 °С с охлаждением в масле, высокий отпуск при 520...540 °С с ускоренным охлаждением, закалку лезвия топора с нагревом ТВЧ, отпуск при 250 °С.



**Рис. 2.2.** Схема упрочняющей термической обработки строительного топора из стали 6ХС

В соответствии с разработанной схемой упрочняющей термической обработки можно представить последовательность структурных превращений в стали 6ХС на каждой ее стадии.

Исходное структурное состояние стали 6ХС — феррит и перлит с преобладанием перлитного компонента, так как это сталь с повышенным содержанием углерода.

1. Объемная закалка. При нагреве превращение протекает в две стадии: 1) при переходе стали через критическую точку  $A_{c1}$  перлит превращается в аустенит; 2) при переходе стали через критическую точку  $A_{c3}$  завершается полиморфное превращение феррита в аустенит, химический состав которого при выдержке становится однородным и соответствует содержанию элементов в стали.

Охлаждение в масле гарантирует бездиффузионный характер превращения аустенита и получение структуры мартенсита во всем объеме изделия.

2. Высокий отпуск при 530 °С. В процессе выдержки протекает распад мартенсита с образованием ферритно-цементитной смеси (образуется сорбит отпуска) и полностью снимаются закалочные напряжения.

3. Скоростная закалка лезвия. В рабочей зоне лезвия топора дисперсная ферритно-цементитная смесь (сорбит отпуска) в условиях скоростного нагрева и значительного превышения критической точки  $A_{c3}$  превращается в аустенит. Такое превышение критической точки позволяет не проводить выдержку при выполнении скоростной закалки. Ускоренное охлаждение гарантирует получение в рабочей зоне лезвия топора мартенситной структуры и высокой твердости.

4. Низкий отпуск при температуре 250 °С. На этой стадии понижаются закалочные напряжения в зоне лезвия, формируется структура мартенсита отпуска и немного снижается твердость до заданного уровня.

Таким образом, в результате выполнения домашнего задания для изготовления строительного топора выбрана экономно легированная сталь 6ХС, разработан режим ее комплексной упрочняющей термической обработки, гарантирующий получение заданных свойств в строительном топоре: твердость рабочего лезвия 53–56 HRC, твердость в зоне обуха менее 45 HRC, ударная вязкость при –60 °С 21 Дж/см<sup>2</sup>.

**Этап 5. Оформление списка литературы, использованной при выполнении домашнего задания.**

### **3. Требования к оформлению отчета о выполненном домашнем задании**

Отчет о выполненном домашнем задании оформляется по ГОСТ 7.32–2001 на листах формата А4. Отчет должен иметь титульный лист с указанием фамилии и инициалов студента, индекса его группы, фамилии и инициалов преподавателя, номера задания и его варианта.

На первой странице отчета приводится полный текст задания, включая эскиз детали и все исходные параметры для заданного варианта. Текст отчета должен быть структурирован по этапам выполнения домашнего задания.

В первой части отчета (по результатам выполнения этапа 1 или этапов 1, 2) необходимо:

1) дать краткий анализ условий работы детали, определить преобладающий характер нагружения металла (статический, циклический, ударный), наличие зон трения и указать основные факторы, определяющие работоспособность детали в данных условиях;

2) дать краткую характеристику геометрических особенностей детали, определить наличие концентраторов напряжений, оценить возможную склонность детали к короблению или растрескиванию при проведении упрочняющей обработки;

3) сформулировать и изложить основные требования к структуре и свойствам стали, включая уровень прокаливаемости, которые смогут обеспечить работоспособность детали в предлагаемых условиях;

4) дать обоснование диапазона концентрации углерода в конструкционной или инструментальной стали, который соответствует выполнению требований п. 3 (стали цементуемые, улучшаемые, азотируемые и т. д.).

Во второй части отчета (по результатам выполнения этапа 3) необходимо:

1) на основании анализа соответствующей группы сталей в марочнике сталей и сплавов выбрать и привести несколько (не менее трех) марок сталей, которые по основным признакам близки к предъявляемым требованиям и подходят для изготовления заданной детали;

2) сопоставить механические и технологические характеристики отобранных сталей и выбрать из них ту марку стали, которая в полной мере удовлетворяет всем исходным требованиям задачи,

включая необходимый уровень прокаливаемости с учетом возможного коробления детали при закалке; привести все обоснования по выбору именно этой марки стали.

В третьей части отчета (по результатам выполнения этапов 4 и 5) необходимо:

1) для выбранной марки стали указать ее химический состав, критические точки, уровень прокаливаемости, рекомендовать упрочняющую обработку, гарантирующую выполнение исходных данных задачи; при этом обосновать цели и условия проведения каждой используемой операции;

2) представить рекомендуемый режим упрочняющей термической (химико-термической) обработки выбранной стали графически в координатах температура—время;

3) дать краткие комментарии к превращениям, протекающим на каждой стадии обработки;

4) привести полный комплекс свойств выбранной стали после рекомендованной термической (химико-термической) обработки и сопоставить их с исходными требованиями задания; по результатам этого сопоставления представить заключение по выполненной работе;

5) привести список литературы, использованной при выполнении домашнего задания.

## 4. Защита домашнего задания

Защиту выполненного и оформленного домашнего задания принимает преподаватель, ведущий лабораторный практикум. Форма защиты — устная; при защите может быть использован оформленный отчет.

При защите работы студент должен уметь:

- аргументировать сделанный выбор стали для изготовления заданной детали;
- обосновать выбор каждого этапа упрочняющей термической обработки и температурных параметров его проведения;
- пояснить сущность превращений в стали, протекающих на каждой стадии рекомендованной термической обработки, и дать характеристику получаемых структур;
- рекомендовать возможный производственный цикл изготовления заданной детали, включая способ получения заготовки; аргументировать применение предварительной термической обработки;
- подобрать возможный заменитель выбранной стали; предложить направление поиска другой стали при возможном изменении исходных параметров по геометрии или свойствам для заданной детали.

При оценке представленного отчета по сделанному домашнему заданию преподавателем учитываются своевременность и самостоятельность его выполнения, творческий подход к поиску решения поставленной задачи, качество оформления отчета, уровень знаний, продемонстрированный студентом в процессе защиты сделанной работы. Выполненное домашнее задание оценивается по пятибалльной шкале с переводом оценки в баллы в соответствии с регламентом кафедры, учитывающим структуру программы общего курса «Материаловедение».

## **Контрольные вопросы к этапам выполнения домашнего задания**

### **Этап 1**

1. Каковы условия эксплуатации заданного изделия? Какой фактор из этих условий является приоритетным для обеспечения работоспособности изделия?
2. Какой класс сталей может быть рекомендован для изготовления заданного изделия?
3. Какие возможные пути позволят реализовать в изделии свойства, требуемые по условиям эксплуатации?

### **Этап 2**

1. Какова роль содержания углерода в эффективности упрочняющей термической обработки сталей?
2. Почему углеродистые стали имеют пониженную прокаливаемость?
3. Какими способами можно увеличить прокаливаемость сталей? Какие из этих способов предпочтительнее для деталей машин?

### **Этап 3**

1. По каким критериям выбрана марка стали для изготовления изделия?
2. Каким образом должен учитываться характер производства изделия при выборе марки стали?
3. Какие признаки положены в основу классификации сталей по качеству?
4. Сталь какого качества предпочтительнее для изготовления заданного изделия?

### **Этап 4**

1. Что понимают под критическими точками стали? Каким образом они используются при определении режима упрочняющей термической обработки?
2. Как выбирается охлаждающая среда при проведении закалики стали? Какую роль при этом играет химический состав стали и геометрия детали?
3. Как выбирается оптимальный режим отпуска стали при проведении упрочняющей термической обработки?
4. В каких случаях для изделия следует применять комбинированную упрочняющую термическую обработку?

## Литература

1. Детали машин. Атлас конструкций: учеб. пособие для вузов / под ред. Д.Н. Решетова. Ч. 1. М.: Машиностроение, 1992. 352 с.
2. Детали машин. Атлас конструкций: учеб. пособие для вузов / под ред. Д.Н. Решетова. Ч. 2. М.: Машиностроение, 1992. 296 с.
3. Материаловедение: учебник для вузов / под ред. Б.Н. Арзамасова, Г.Г. Мухина. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 648 с.
4. Справочник по конструкционным материалам / под ред. Б.Н. Арзамасова, Т.В. Соловьевой. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 640 с.
5. Башмин Ю.А., Ушаков Б.К., Секей А.Г. Технология термической обработки: учебник для вузов. М.: Металлургия, 1986. 424 с.
6. Марочник сталей и сплавов / под ред. В.Г. Сорокина. М.: Машиностроение, 1989. 640 с.
7. Марочник сталей и сплавов / под ред. В.Г. Сорокина [и др. ] М.: Интермет Инжиниринг, 2003. 608 с.
8. Марочник сталей и сплавов / под ред. А.С. Зубченко [и др.] М.: Машиностроение, 2001. 672 с.

## Содержание

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| Предисловие . . . . .                                                      | 3  |
| Список обозначений . . . . .                                               | 5  |
| Введение . . . . .                                                         | 6  |
| 1. Домашние задания . . . . .                                              | 9  |
| 2. Пример выполнения домашнего задания . . . . .                           | 27 |
| 3. Требования к оформлению отчета о выполненном домашнем задании . . . . . | 39 |
| 4. Защита домашнего задания . . . . .                                      | 41 |
| Контрольные вопросы к этапам выполнения домашнего задания . . . . .        | 42 |
| Литература . . . . .                                                       | 43 |

*Учебное издание*

**Власова Дарья Владимировна  
Сапронов Илья Юрьевич  
Ховова Ольга Михайловна**

**Комплект домашних заданий  
по курсу «Материаловедение»**

Редактор *О.М. Королева*  
Художник *Э.Ш. Мурадова*  
Корректор *О.Ю. Соколова*  
Компьютерная графика *Т.Ю. Кутузовой*  
Компьютерная верстка *Н.Ф. Бердавцевой*

Оригинал-макет подготовлен  
в Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана.

В оформлении использованы шрифты  
Студии Артемия Лебедева.

Подписано в печать 24.10.2017. Формат 60×90/16.  
Усл. печ. л. 2,75. Тираж 100 экз. Изд. № 208-2016.  
Заказ

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
[press@bmstu.ru](mailto:press@bmstu.ru)  
[www.baumanpress.ru](http://www.baumanpress.ru)

Отпечатано в типографии МГТУ им. Н.Э. Баумана.  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
[baumanprint@gmail.com](mailto:baumanprint@gmail.com)