

№ 2878

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСиС»

Кафедра горного оборудования, транспорта и машиностроения

Н.В. Сурина

Е.И. Сизова

Технологические процессы в машиностроении

Учебное пособие

Рекомендовано методической комиссией
НИТУ «МИСиС» по направлению подготовки 15.03.05
«Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств» в качестве
учебного пособия



Москва 2017

УДК 622.002.5
С90

Рецензент
канд. техн. наук, доц. *Е.И. Жариков* (МГУДТ)

Сурина Н.В.

С90 Технологические процессы в машиностроении : учеб. пособие / Н.В. Сурина, Е.И. Сизова. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2017. – 162 с.
ISBN 978-5-906846-35-8

В учебном пособии рассмотрены основные этапы разработки технологических процессов изготовления деталей на примере элементов редукторов машин – зубчатых колес, валов, крышек, втулок, а также элементов гидравлики – цилиндров, штоков. В соответствии с порядком, представленным в данной работе, студент может выполнить технологическую часть курсового и дипломного проекта (работы). В учебном пособии даются справочные материалы по химическому составу сталей, режимам термообработки, рекомендации по выбору способов получения заготовок. Представлены примеры технологических процессов, расчетов режима резания и норм времени. Также пособие содержит раздел, посвященный выбору инструмента и расчету режимов резания для токарной обработки на высокопроизводительных станках с числовым программным управлением.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальностям 21.05.04 «Горное дело» специализация «Горные машины и оборудование», 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» специализация «Технические средства природообустройства и защиты в чрезвычайных ситуациях».

УДК 622.002.5

ISBN 978-5-906846-35-8

© Н.В. Сурина,
Е.И. Сизова, 2017
© НИТУ «МИСиС», 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	4
1. Установление ориентировочного типа производства	5
2. Обоснование выбора материала детали и вида термообработки	6
3. Обоснование способа получения заготовки.....	17
4. Анализ точности и шероховатости поверхностей детали с целью определения состава операций	20
5. Выбор технологических баз	27
6. Разработка маршрута обработки отдельных поверхностей заготовки	39
7. Проектирование технологического маршрута изготовления детали	40
8. Выбор технологического оборудования.....	42
9. Выбор режущего инструмента (общие рекомендации)	43
10. Выбор мерительного инструмента.....	45
11. Расчет режимов механической обработки заготовки.....	46
12. Нормирование технологического процесса	51
13. Выбор инструмента и расчет режимов резания для токарной обработки на высокопроизводительных станках с ЧПУ	53
13.1. Форма пластины	55
13.2. Геометрические элементы токарного резца.....	61
13.3. Задний угол пластины	63
13.4. Класс точности пластины (допуски на размеры пластин s)	66
13.5. Тип пластины	66
13.6. Размер пластины	68
13.7. Толщина пластины	70
13.8. Радиус при вершине пластины	70
13.9. Геометрия пластины.....	73
13.10. Марка сплава пластины	79
13.11. Режимы резания (на базе каталогов фирмы Sandvik Coromant).....	86
14. Технологические маршруты изготовления типовых деталей машин	98
Библиографический список	134
Приложения	135

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие содержит рекомендации по структуре и содержанию разделов технологической части дипломного проекта, а также всю необходимую информацию для выполнения курсовой (самостоятельной) работы по дисциплинам «Технологические процессы в машиностроении», «Технология машиностроения и ремонта машин» и «Технология производства технических средств природообустройства и защиты в чрезвычайных ситуациях».

Технологическая часть дипломного проекта (работы), а также курсовая (самостоятельная) работа выполняются каждым студентом в соответствии с индивидуальным заданием.

Для выполнения технологической части дипломного проекта (работы) выбирается деталь, выполняющая одну из ключевых функций в механизме, являющемся предметом дипломного проектирования (работы). Цель технологической части – разработка технологического процесса изготовления выбранной детали с эскизами наладок на технологические операции, выбор оборудования, станочной оснастки, режущего инструмента, а также проведение всех необходимых технологических расчетов.

Задание на курсовую (самостоятельную) работу выдается студенту в начале семестра и включает бланк задания и чертеж детали, на изготовление которой должен быть разработан технологический процесс, включающий режимы термообработки, режимы резания и нормирование. В задании указывается годовая программа выпуска деталей в штуках или тип производства.

Выполнение технологической части дипломного проекта (работы) и курсовой (самостоятельной) работы должно производиться в соответствии с последовательностью, представленной в учебном пособии. Использование большого количества справочного материала, представленного в пособии, позволит студенту выполнить работу более полно и качественно в соответствии с действующими нормативными документами.

1. УСТАНОВЛЕНИЕ ОРИЕНТИРОВОЧНОГО ТИПА ПРОИЗВОДСТВА

Тип производства и соответствующая ему форма организации работы определяют характер технологического процесса и его построение. Поэтому прежде чем приступить к проектированию технологического процесса механической обработки деталей, необходимо исходя из заданной производственной программы и характера подлежащих обработке деталей, установить тип производства и соответствующую ему организационную форму выполнения технологического процесса.

Согласно ГОСТ 3.1121–84, основной характеристикой типа производства является коэффициент закрепления операций ($K_{з.о}$), равный отношению всех различных технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течение месяца в механическом цехе, к числу рабочих мест P_m :

$$K_{з.о} = \frac{O}{P_m}.$$

По ГОСТ 3.1121–84 приняты следующие $K_{з.о}$:

- 1 – массовое производство;
- 2–10 – крупносерийное производство
- 10–20 – среднесерийное производство;
- 20–40 – мелкосерийное производство;
- > 40 – единичное производство.

При отсутствии базового технологического процесса выбор типа производства можно установить, зная годовую программу выпуска деталей в штуках и массу детали в килограммах, пользуясь табл. 1.1.

Таблица 1.1

Выбор типа производства при изготовлении деталей

Тип производства	Годовая программа выпуска, шт.		
	Масса детали, кг		
	До 30	30...50	Более 50
Единичный	До 100	До 10	До 5
Мелкосерийный	100–500	11–200	6–10
Серийный	501–5000	201–500	11–300
Крупносерийный	5001–50 000	501–5000	301–1000
Массовый	Св. 50 000	Св. 5000	Св. 1000

2. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАТЕРИАЛА ДЕТАЛИ И ВИДА ТЕРМООБРАБОТКИ

Выбор материала деталей и вида термообработки определяется необходимостью обеспечить работоспособность деталей в течение заданного срока в конкретных условиях эксплуатации, т.е. при воздействии определенного спектра нагрузок.

Для улучшения структуры сплавов, повышения их механических свойств, износостойкости и долговечности применяют термическую и химико-термическую обработку.

В качестве **предварительной термообработки** используются отжиг, нормализация, нормализация + высокий отпуск.

Отжиг применяется для снижения твердости и улучшения обрабатываемости резанием, исправления структуры, снижения остаточных напряжений в отливках, штамповках для ответственных деталей из высоколегированных сталей.

Нормализация применяется для улучшения обрабатываемости резанием заготовок из низко- и среднеуглеродистых сталей.

Нормализация + высокий отпуск применяется для улучшения обрабатываемости резанием заготовок из высоколегированных сталей.

В качестве **окончательной термообработки** применяют улучшение, закалку и отпуск, в том числе закалку токами высокой частоты (ТВЧ), процессы химико-термической обработки (чаще цементацию, нитроцементацию и азотирование).

Улучшение (закалка + высокий отпуск) применяется, как правило, для обеспечения требуемых свойств, улучшения структуры и снятия остаточных напряжений после черновой обработки. После улучшения возможна обработка лезвийным инструментом.

Закалка применяется для повышения прочности, упругости, твердости и износостойкости. Чтобы уменьшить хрупкость и напряжения, вызванные закалкой, и получить требуемые механические свойства, сталь после закалки обязательно подвергают **отпуску**.

Закалку ТВЧ (с индукционным нагревом) применяют для повышения твердости, износостойкости и предела выносливости деталей, работающих на кручение, удар, у которых отдельные поверхности подвергаются интенсивному износу. Закалке подвергается поверхностный слой изделия (на заданную глубину). Сердцевина остается вязкой и воспринимает ударные нагрузки.

Химико-термическая обработка применяется для упрочнения деталей, работающих в условиях изнашивания, циклических нагру-

зок, при которых максимальные нагрузки возникают в поверхностном слое металла.

Цементация – процесс насыщения углеродом поверхностного слоя детали при нагреве выше точки A_{c3} в соответствующей среде – карбюризаторе. Окончательные свойства цементованные изделия приобретают после закалки и низкого отпуска, выполненных после цементации. В результате поверхностный слой обладает высокой твердостью и износостойкостью, повышенным пределом контактной выносливости и выносливостью при изгибе и кручении. Глубина цементованного слоя в среднем 1,2...1,4 мм, твердость HRC 56...62.

Нитроцементация – процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя углеродом и азотом. В отличие от цементации при этом процессе достигается более высокая твердость, износостойкость, коррозионная стойкость поверхностного слоя и более высокая усталостная стойкость. Твердость поверхности после нитроцементации HRC 58...64. Недостатком процесса является невысокая предельно допустимая толщина слоя до 1 мм (ионная нитроцементация до 2 мм).

Азотирование – процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя азотом. Азотирование сильно повышает твердость поверхностного слоя, его износостойкость, предел выносливости и сопротивление коррозии. Твердость азотированного слоя до HV 1200, однако глубина слоя до 0,5 мм, что является ограничением по удельным нагрузкам. Азотирование является окончательной термообработкой.

Далее приведены материалы, применяемые для различных групп деталей горных машин.

Корпуса горных машин испытывают воздействие значительных нагрузок различного характера, поэтому для обеспечения необходимой прочности их изготавливают из стального литья (реже из чугуна). Применяются стали 35Л, 35ФЛ, 12ДН2ФЛ, 12ДХН1МФЛ, 15Х2Г2НМЛ, химический состав и механические свойства которых приведены в табл. 2.1 и 2.2.

Детали типа крышек, втулок, фланцев и т.д., как правило, изготавливают из сталей 35, 40Х, 45. Предварительная термообработка – нормализация или нормализация с высоким отпуском и окончательная термообработка – улучшение. Химический состав и механические свойства сталей приведены в табл. 2.3–2.6.

Валы и оси изготавливают, как правило, из легированных сталей 45Г2, 40Х, 40ХН, 40ХН2МА, вал-шестерни и шлицевые валы из сталей 18ХГТ, 30ХГТ, 20Х2Н4А, 25ХГМ, 12ХН3А, 18Х2Н4МА, 20ХГН2МБФ, 20Х3Н3МФБА. Химический состав и механические свойства сталей приведены в табл. 2.5 и 2.6.

Таблица 2.1

Химический состав корпусных деталей

Марка стали	Содержание элементов, %								
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	S, P	Cu
35Л	0,32...0,4	0,2...0,42	0,5...0,9	До 0,3	–	До 0,3	–	0,05	–
35ФЛ	0,32...0,4	0,2...0,52	0,4...0,9	До 0,5	–	До 0,3	0,06...0,15	0,05	До 0,3
12ДН2ФЛ	0,08...0,16	0,2...0,4	0,4...0,9	0,3	–	1,8...2,2	0,08...0,15	0,03	1,2...1,5
12ДХН1МФЛ	0,1...0,18	0,2...0,4	0,3...0,55	1,2...1,7	0,2...0,3	1,4...1,8	0,08...0,15	0,03	0,4...0,65
15Х2Г2НМЛ	0,2...0,4	1,5...2,4	1,5...2,0	0,2...0,4	0,5...0,8	–	0,03	0,4	0,4

Таблица 2.2

Механические свойства корпусных сталей

Марка стали	Режим термообработки	Механические свойства					
		σ_b	σ_T	δ	ψ	КСУ	НВ
		МПа		%		МДж/м ²	кгс/мм ²
35Л	Нр: $t_n = 940...960$ °С, воздух	500	280	15	25	0,35	137...166
35ФЛ	Нр: $t_n = 940...960$ °С, воздух	570	360	12	15	0,32	170...229
12ДН2ФЛ	Нр: $t_n = 950$ °С, воздух О: $t_n = 550$ °С, воздух	650	550	12	20	0,3	170...229
12ДХН1МФЛ	Нр, $t_n = 940...960$ °С, воздух О: $t_n = 550 \pm 10$ °С, воздух	800	650	12	16	0,3	217...269
15Х2Г2НМЛ	Нр: $t_n = 960$ °С, воздух О: $t_n = 540 \pm 10$ °С, воздух	930	800	12	36	0,3	–

Примечание. Нр – нормализация; О – отпуск; t_n – температура нагрева.

Таблица 2.3

Химический состав

Марка стали	Содержание элементов, %						
	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
35	0,32...0,4	0,17...0,37	0,5...0,8	До 0,3	До 0,25	0,035	0,04
45	0,42...0,5	0,17...0,37	0,5...0,8	До 0,25	До 0,25	0,035	0,04

Таблица 2.4

Механические свойства сталей

Марка стали	Режим термообработки	Механические свойства					
		σ_B	σ_T	δ	ψ	KCU	HB
		МПа		%		МДж/м ²	кгс/мм ²
35	Нр: $t_n = 850 \text{ }^\circ\text{C} \dots 900 \text{ }^\circ\text{C}$, воздух	540	320	20	45	0,7	149
	Зк: $t_n = 860 \text{ }^\circ\text{C}$, вода О: $t_n = 600 \text{ }^\circ\text{C}$, воздух	570	390	18	41	1,3	156...197
45	Нр: $t_n = 820 \text{ }^\circ\text{C} \dots 860 \text{ }^\circ\text{C}$, воздух	610	360	16	40	0,5	170...179
	Зк: $t_n = 850 \text{ }^\circ\text{C}$, вода О: $t_n = 600 \text{ }^\circ\text{C}$, воздух	720	500	16	36	0,9	192...240

Примечание. Нр – нормализация; О – отпуск; Зк – закалка; t_n – температура нагрева.

Таблица 2.5

Химический состав сталей, предназначенных для изготовления валов и осей

Марка стали	Содержание элементов, %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Другие	P	S	Cu
45Г2	0,41...0,49	0,17...0,37	1,4...1,8	0,3	0,3	—	0,035	0,035	0,3
40X	0,36...0,44	0,17...0,37	0,5...0,8	0,8...1,1	0,3	—	0,035	0,035	0,3
40XH	0,36...0,44	0,17...0,37	0,5...0,8	0,45...0,75	1,0...1,4	—	0,035	0,035	0,3
40XH2MA	0,37...0,44	0,17...0,37	0,5...0,8	0,6...0,9	1,25...1,65	Mo 0,15...0,25	0,025	0,025	0,3
18XГГ	0,17...0,23	0,17...0,37	0,8...1,1	1,0...1,3	0,3	Ti 0,03...0,09	0,035	0,035	0,3
30XГГ	0,24...0,32	0,17...0,37	0,8...1,1	1,0...1,3	0,3	Ti 0,03...0,09	0,035	0,035	0,3
25XГМ	0,23...0,29	0,17...0,37	0,9...1,2	1,9...1,2	0,3	Mo 0,2...0,3	0,035	0,035	0,3

Таблица 2.6

Механические свойства сталей, предназначенных для изготовления валов и осей

Марка стали	Режим термообработки	Механические свойства						
		σ_b	σ_t	δ	ψ	KCU	HB ₁	HRC
		МПа		%		МДж/м ²	кгс/мм ²	
45Г2	Нр: $t_{н} = 860$ °С, воздух	700	420	12	40	—	229	—
	Зк: $t_{н} = 830...850$ °С, масло	850	700	13	45	0,45	269...320	—
	О: $t_{н} = 550...600$ °С, масло							
40X	Нр: $t_{н} = 850...860$ °С, воздух	750	450	16	58	1	217...229	—
	Зк: $t_{н} = 840...860$ °С, через воду в масло	700	480	15	45	0,5	197...241	—
	О: $t_{н} = 550...600$ °С, воздух							
40XH	Нр: $t_{н} = 850...860$ °С, воздух	710	580	—	—	—	207...255	—
	Зк: $t_{н} = 840...860$ °С, масло	800	580	9	38	0,4	197...241	—
	О: $t_{н} = 550...600$ °С, масло или вода							

Окончание табл. 2.6

Марка стали	Режим термообработки	Механические свойства						
		σ_n	σ_T	δ	ψ	KCU	HB, кгс/мм ²	HRC
		МПа		%		МДж/м ²		
40ХН2МА	Нр: $t_n = 840$ °С, воздух	870	700	22	65	1,3	255...269	–
	О: $t_n = 620$ °С, воздух Зк: $t_n = 840...860$ °С, масло О: $t_n = 550...600$ °С, вода или масло	900	750	15	50	0,8	269...321	–
18ХГТ	Нр: $t_n = 930-950$ °С, воздух	530	430	26	70	–	156...228	–
	Цм: $t_n = 900...950$ °С, воздух Зк: $t_n = 850...870$ °С, масло О: $t_n = 180...200$ °С, воздух	1000	800	9	50	0,8	240...300	56...62
30ХГТ	Нр: $t_n = 95...970$ °С, воздух	–	–	–	–	–	170...228	–
	Цм: $t_n = 900...920$ °С, подстуживание Зк: $t_n = 870$ °С, масло О: $t_n = 180...200$ °С, воздух	1000	800	12	33	0,6	> 300	56...62
25ХГМ	Нр: $t_n = 950$ °С, воздух	630	370	34	69	–	170...179	–
	Цм: $t_n = 900...920$ °С, воздух Зк: $t_n = 850...860$ °С, масло О: $t_n = 180...200$ °С, воздух	1200	1100	10	45	0,8	205...215	56...62

Примечание. Нр – нормализация; О – отпуск; Зк – закалка; Цм – цементация; t_n – температура нагрева.

В качестве термообработки для простых валов и осей из сталей 40X, 45Г2, 40ХН и т.д. применяется улучшение до твердости НВ 230...285. Шейки валов для повышения износостойкости часто подвергаются закалке ТВЧ до твердости HRC 56...62. Для вал-шестерен, шлицевых валов из стали 18ХГТ, 30ХГТ, 20Х2Н4А, 20ХЗНЗМФБА и т.п. применяют окончательную термообработку – цементацию с последующей закалкой и низким отпуском до твердости HRC 56...62. Предварительная термообработка – нормализация или нормализация с высоким отпуском для высоколегированных сталей.

Зубчатые колеса трансмиссий горных машин изготавливают из сталей 12ХНЗА, 18Х2Н4МА, 20Х2Н4А, 20ХЗНЗМФБА, 20ХГН2МБФ.

Предварительная термообработка – нормализация с высоким отпуском, окончательная – цементация, высокий отпуск, закалка, низкий отпуск.

Азотирование зубчатых колес применяется при удельной нагрузке в зубчатом зацеплении $W \leq 450$ Н/мм, так как в этом случае максимальные касательные напряжения находятся на глубине 0,2...0,3 мм от поверхности.

Окончательная термообработка – закалка, высокий отпуск и азотирование.

Химический состав сталей и механические свойства после окончательной термообработки представлены в табл. 2.7 и 2.8.

Материалы, применяемые для изготовления основных элементов гидравлических систем, должны обладать высокой твердостью, повышенной износостойкостью и минимальной деформацией после термообработки.

Гидравлические цилиндры, плунжеры, штоки изготавливают из сталей 35, 45, 40X, 40ХН и 30ХГСА. Термообработка цилиндров – улучшение до твердости НВ 241...285.

Рабочие поверхности штоков и плунжеров с целью упрочнения подвергаются закалке ТВЧ. После закалки проводится низкий отпуск при температуре 160...200 °С. Окончательная твердость рабочих поверхностей в зависимости от материала составляет от HRC 42...48 до 50...56. Такая термообработка дает возможность получить мелкодисперсную мартенситную структуру, обладающую достаточной прочностью и износостойкостью. Рабочие поверхности штоков и плунжеров после термической и механической обработки хромируют, в результате чего износостойкость возрастает в 1,5–3 раза. Хромирование используется и как антикоррозийное средство.

Таблица 2.7

Химический состав сталей, предназначенных для изготовления зубчатых колес

Марка стали	Содержание элементов, %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Другие	P	S	Cu
12ХНЗА	0,09...0,16	0,17...0,37	0,3...0,6	0,6...0,9	2,75...3,15	–	0,025	0,025	0,3
18Х2Н4МА	0,14...0,2	0,17...0,37	0,25...0,55	1,35...1,65	4,0...4,4	Mo 0,3...0,4	0,025	0,025	0,3
20Х2Н4А	0,16...0,22	0,17...0,37	0,3...0,6	1,25...1,65	3,25...3,65	–	0,025	0,025	0,3
20ХЗНЗМФБА	0,18...0,22	0,17...0,37	0,3...0,6	2,8...3,2	2,7...3,3	Nb 0,05...0,1 Mo 0,5...0,65 V 0,1...0,15	0,025	0,025	0,3
20ХГН2МБФ	0,15...0,22	0,17...0,37	0,5...0,8	0,4...0,6	1,6...2,0	Nb 0,05...0,1 Mo 0,5...0,6 V 0,1...0,15	0,035	0,035	0,3

Таблица 2.8

**Механические свойства сталей, предназначенных
для изготовления зубчатых колес**

Марка стали	Режим термообработки	Механические свойства						
		σ_n	σ_T	δ	ψ	КСУ	НВ	HRC
		МПа		%		МДж/м ²	кгс/мм ²	
12ХН3А	Нр: $t_n = 960 \dots 980$ °С, воздух О: $t_n = 630$ °С, воздух Цм: $t_n = 920 \dots 950$ °С, воздух О: $t_n = 650 \dots 670$ °С, воздух Зк: $t_n = 790 \dots 810$ °С, масло О: $t_n = 180 \dots 200$ °С, воздух	650	440	20	51	–	217...229	–
		950	700	11	55	0,9	–	56...62
18Х2Н4МА	Нр: $t_n = 920 \dots 980$ °С, воздух О: $t_n = 630 \dots 680$ °С, воздух Цм: $t_n = 900 \dots 920$ °С, воздух О двойной: $t_n = 630 \dots 650$ °С, воздух Зк: $t_n = 790 \dots 810$ °С, масло О: $t_n = 150 \dots 170$ °С, воздух	–	–	–	–	–	217...269	–
		1130	835	12	50	1	–	58...62
20Х2Н4А	Нр: $t_n = 960 \dots 980$ °С, воздух О: $t_n = 630$ °С, воздух Цм: $t_n = 920 \dots 950$ °С, воздух О: $t_n = 630 \dots 650$ °С, воздух Зк: $t_n = 780 \dots 820$ °С, масло О: $t_n = 180 \dots 200$ °С, воздух	925	850	–	–	–	269	–
		1080	830	–	–	–	–	56...62

Окончание табл. 2.8

Марка стали	Режим термообработки	Механические свойства						
		σ_n	Σ_T	δ	ψ	КСУ	НВ	HRC
		МПа		%		МДж/м ²	кгс/мм ²	
20ХЗНЗМФБА	ПТО Нагрев: $t_n = 650 \dots 680^\circ \text{C}$, охлаждение в печи $t_n = 250 \dots 300^\circ \text{C}$ Нагрев: $t_n = 650 \dots 680^\circ \text{C}$, охлаждение в печи $t_n = 350 \dots 400^\circ \text{C}$ Цм: $t_n = 580^\circ \text{C}$, воздух О: $t_n = 580^\circ \text{C}$, воздух Зк: $t_n = 800^\circ \text{C}$, масло О: $t_n = 180^\circ \text{C}$, воздух	1150	1000	10	50	0,6	340	–
		1490,5	1350,5	13,4	52,4	1,0	321	56...62
		1500,5	1360,2	13,6	49,6	1,1	(сердцевина)	
	Зк: $t_n = 980^\circ \text{C}$, масло О: $t_n = 580^\circ \text{C}$ А: $t_n = 550^\circ \text{C}$	1180,9	1080	17,9	59,7	0,3	–	–
		1220,2	1100,5	16,8	56,9	0,32	–	–
20ХГН2МБФ	Нр: $t_n = 960 \dots 980^\circ \text{C}$, воздух О: $t_n = 650^\circ \text{C}$, воздух Цм: $t_n = 920 \dots 980^\circ \text{C}$, с печью Зк: $t_n = 860^\circ \text{C}$, масло О: $t_n = 300^\circ \text{C}$, воздух	1500	1370	12	50	1,1	340	56...62
							(сердцевина)	

Примечание. Нр – нормализация; О – отпуск; Зк – закалка; Цм – цементация; t_n – температура нагрева.

Для упрочнения поверхностного слоя применяют также методы пластического деформирования: обкатку для упрочнения наружной поверхности штоков и плунжеров и раскатку для упрочнения внутренней поверхности цилиндров.

Перечисленные стали, кроме того, обладают хорошей обрабатываемостью резанием, особенно после улучшения, и свариваемостью.

Химический состав и механические свойства сталей после термообработки – улучшения – представлены в табл. 2.5–2.10.

Таблица 2.9

Химический состав стали 30ХГСА

Марка стали	Содержание элементов, %								
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	P	S	Cu
30ХГСА	0,24...0,32	0,17...0,37	0,8...1,1	1,0...1,3	0,3	0,03...0,09	0,035	0,035	0,3

Таблица 2.10

Механические свойства стали 30ХГСА

Марка стали	Режим термообработки	Механические свойства						
		σ_b	σ_r	δ	ψ	КCU	НВ кгс/мм ²	HRC
		МПа		%		МДж/м ²		
30ХГСА	Нр: $t_n = 860...880$ °С, воздух	680	–	27	–	–	197...241	–
	Зк: $t_n = 870$ °С, вода	1130	910	10	50	0,5	207...229	20...24
	О: $t_n = 650$ °С, воздух							

Примечание. Нр – нормализация; О – отпуск; Зк – закалка; t_n – температура нагрева.