

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический
университет»

Факультет «Магистратура»

Ю.А. Брусенцов, И.С. Филатов, И.Г. Проценко

НОВЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Утверждено Методическим советом ТГТУ
в качестве методических указаний по выполнению
практических работ для студентов магистратуры,
обучающихся по направлению 150700.68
«Машиностроение»



Тамбов
2013

Рецензент
д.т.н., профессор В.М. Червяков

Новые конструкционные материалы: Метод. указ.
/Сост.: Ю.А. Брусенцов, И.С. Филатов, И.Г. Проценко,
Тамбов: ТГТУ, 2013. – 18 с.

Утверждено Методическим советом ТГТУ
(протокол № ____ от _____)

Методические рекомендации.

Решение задач, выполняемых в ходе практических занятий, предусматривает обоснованный выбор сплава и методов их обработки, при использовании которых в наибольшей степени обеспечиваются надежность и стойкость деталей в условиях эксплуатации. Как правило, в задачах приведены более типичные условия использования изделий, имеющие место в разных отраслях промышленности. Кроме того, в предложенных задачах сформулированы характерные свойства для сплавов в соответствующем изделии. Для решения расчетной задачи, прежде всего, необходимо определить группу сплавов (например, конструкционных сталей, инструментальных сталей, полимерных материалов и т.п.), обладающих свойствами, близкими к требуемым. Для этой цели рекомендуется ознакомиться с классификацией, составом и назначением основных материалов, используемых в технике и приведенных в приложении 1-4.

Затем для окончательного определения наиболее пригодного сплава из числа приведенных в выбранной группе и рекомендации режима его обработки необходимо в качестве общего правила рассмотреть возможность использования более дешевого материала, например для деталей машин — углеродистой стали обыкновенного качества или серого чугуна. Если при рассмотрении свойств намечаемых сплавов окажется, что они не удовлетворяют требованиям задачи, например, по прочности или по вязкости, то следует рассмотреть возможность их улучшения выбором термической или химико-термической обработки. Сделанный выбор сплава надо обосновать. Кроме того, необходимо, при выборе тех или иных материалов учитывались технологические свойства, с тем чтобы при изготовлении использовать более экономичные технологические процессы, позволяющие наряду с улучшением характеристик этих изделий, трудоемкость и расход материалов.

Если для улучшения свойств выбранного материала нужны термическая или химико-термическая обработки, то необходимо указать их режимы, получаемую структуру и свойства. При рекомендации режимов обработки необходимо также указывать наиболее экономичные и производительные способы, например для деталей, изготавливаемых в больших количествах, — обработку с индукционным нагревом, газовую цементацию и др. В приложении 5 представлены, разработанные Козловским [1], обобщенные параметры типовых методов упрочнения, рекомендованные при решении задач. Для деталей, работающих в условиях переменных нагрузок, например для валов, зубчатых колес многих типов, необходимо рекомендовать обработку, повышающую предел выносливости, а именно в

зависимости от рекомендуемой стали к ним относятся: цементация, цианирование, азотирование, закалка с индукционным нагревом, обработка дробью.

С целью получения навыков в выборе материала и обосновании принимаемой рекомендации ниже приведены примерные решения типов задач по конструкционным сталям общего назначения, инструментальным сталям и цветным сплавам.

При решении задач и указании структуры и свойств выбранных сплавов рекомендуется воспользоваться справочной литературой, приведенной в перечне используемых источников [2-10].

Пример решения типовых расчетных задач.

Задачи по конструкционным сталям, чугунам, полимерным материалам.

Задание.

Заводу нужно изготовить вал диаметром 70 мм для работы с большими нагрузками. Сталь должна иметь предел текучести не ниже 750 МПа, предел выносливости не ниже 400 МПа и ударную вязкость не ниже 900 кДж/м². Завод имеет сталь трех марок: Ст 4, 45 и 20ХНЗА. Какую из этих сталей следует применить для изготовления вала? Нужна ли термическая обработка выбранной стали и если нужна, то какая? Дать характеристику микроструктуре и указать механические свойства после окончательной термической обработки.

Решение.

Предложенные марки сталей имеют следующий химический состав, представленный в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав сталей, %

Сталь	ГОСТ	C	Mn	Si
Ст4	380—71	0,18—0,27	0,40—0,70	0,12—0,30
Сталь 45	1050—60	0,42—0,50	0,50—0,80	0,17—0,37
20ХНЗА	4543—71	0,17—0,23	0,30—0,60	0,17—0,37

Продолжение таблицы 1.

Сталь	Cr	Ni	S	P
Ст4	≤0,3	≤0,3	≤0,050	≤0,040
Сталь 45	≤0,25	≤0,25	≤0,045	≤0,040
20ХНЗА	0,60—0,90	2,75—3,15	≤0,025	≤0,025

Сталь марки Ст4, согласно ГОСТ, имеет следующие свойства в состоянии поставки (после прокатки иликовки): $\sigma_b = 420 - 540$ МПа, $\sigma_{0,2} \geq 240 - 260$ МПа, $\delta \geq 21\%$.

Сталь 45, согласно ГОСТ, в состоянии поставки (после прокатки и отжига) имеет твердость не более 207 НВ. При твердости 190—200 НВ сталь имеет предел прочности σ_b не выше 600—620 МПа, а при твердости ниже 180 НВ предел прочности не превышает 550—600 МПа. Для отожженной углеродистой стали отношение $\sigma_{0,2}/\sigma_b$

составляет примерно 0,5. Следовательно, предел текучести стали 45 в этом состоянии не превышает 270—320 МПа.

Сталь 20ХНЗА, согласно ГОСТ, в состоянии поставки имеет твердость не более 250 *НВ*. Следовательно, предел прочности при твердости 230—250 *НВ* не превышает 670–750 МПа и может быть ниже 600 МПа для плавок с более низкой твердостью. Тогда предел текучести составляет 350—400 МПа, так как $\sigma_{0,2}/\sigma_b$ для отожженной легированной стали 0,5—0,6. Таким образом, для получения заданной величины предела текучести вал необходимо подвергнуть термической обработке.

Для низкоуглеродистой стали Ст 4 улучшающее влияние термической обработки незначительно. Кроме того, Ст 4 — как сталь обыкновенного качества имеет повышенное содержание серы и фосфора (см. табл. Приложения II), которые понижают механические свойства и особенно сопротивление ударным нагрузкам.

Для такого ответственного изделия, как вал двигателя, поломка которого нарушает работу машины, применение более дешевой по составу стали обыкновенного качества нерационально.

Сталь 45 относится к классу качественной углеродистой, а сталь 20ХНЗА — к классу высококачественной легированной стали. Они содержат соответственно 0,42—0,50 и 0,17—0,23% С и принимают закалку. Для повышения прочности можно применять нормализацию или закалку с высоким отпуском. Последний вариант обработки сложнее, но позволяет получить не только более высокие характеристики прочности, но и более высокую вязкость. В стали 45 минимальные значения ударной вязкости КСУ (α_n) после нормализации составляют 200—300 кДж/м², а после закалки и отпуска с нагревом до 500°С достигают 600—700 кДж/м².

Так как вал двигателя воспринимает в работе динамические нагрузки, а также и вибрации, более целесообразно применить закалку и отпуск. После закалки в воде углеродистая сталь 45 получает структуру мартенсита. Однако вследствие небольшой прокаливаемости углеродистой стали эта структура в изделиях диаметром более 20—25 мм образуется только в сравнительно тонком поверхностном слое толщиной до 2—4 мм.

Последующий отпуск вызывает превращение мартенсита и троостита в сорбит только в тонком поверхностном слое, но не влияет на структуру и свойства перлита и феррита в основной массе изделий. Сорбит отпуска обладает более высокими механическими свойствами, чем феррит + перлит. Наибольшие напряжения от изгиба, кручения и повторно переменных нагрузок воспринимают наружные слои, которые и должны обладать повышенными механическими свойствам. Однако в сопротивлении динамическим нагрузкам, которые

воспринимает вал, участвуют не только поверхностные, но и нижележащие слои металла. Таким образом, углеродистая сталь не будет иметь требуемых свойств по сечению вала диаметром 70 мм (рис. 1).

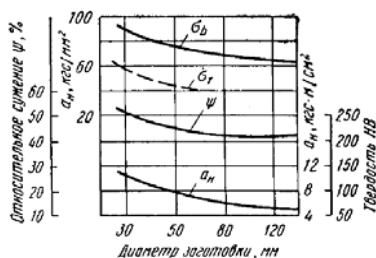


Рис. 1 Механические свойства углеродистой стали Ст45 после закалки и отпуска в зависимости от диаметра заготовки

Сталь 20ХН3А легирована никелем и хромом для повышения прокаливаемости и закаливаемости. Она получает после закалки достаточно однородную структуру и механические свойства в сечении диаметром до 75 мм.

Для стали 20ХН3А рекомендуется термическая обработка:

1. Закалка с 820—835° С в масле. При закалке с охлаждением в масле (а не в воде, как это требуется для углеродистой стали) возникают меньшие напряжения, а следовательно, и меньшая деформация. После закалки сталь имеет структуру мартенсит и твердость не ниже 50 HRC.

2. Отпуск 520—530° С. Для предупреждения отпускной хрупкости, к которой чувствительны стали с хромом (марганцем), вал после нагрева следует охлаждать в масле. Механические свойства стали 20ХН3А в изделии диаметром до 75 мм после термической обработки:

Предел прочности σ_b , МПа	900-1000
Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	750-800
Предел выносливости σ_{-1} , МПа	400-430
Относительное удлинение δ , %	8-10
Относительное сужение ψ , %	45-50
Ударная вязкость α_n , кДж/м ²	9

Таким образом, эти свойства обеспечивают требования, сформулированные в задании для вала диаметром 70 мм.

Задачи по инструментальным сталям и сплавам.

Задание.

Стойкость сверл и фрез, изготовленных из быстрорежущих сталей умеренной теплостойкости марки P12 и P6M5 и обрабатывающих конструкционные стали твердостью 180-200 HB, была удовлетворительной. Однако стойкость этих сверл резко снизилась при

обработке жаропрочной аустенитной стали. Рекомендовать быстрорежущую сталь повышенной теплостойкости, пригодную для резания жаропрочных сталей, указать ее марку и химический состав, термическую обработку и микроструктуру в готовом инструменте. Сопоставить теплостойкость сталей P12 и P6M5 и выбранной стали.

Решение.

Режущие инструменты для производительного резания изготавливают из быстрорежущих сталей, так как эти стали обладают теплостойкостью. Они сохраняют мартенситную структуру и высокую твердость при повышенном нагреве (500—650°С), возникающем в режущей кромке. Однако стойкость инструментов из быстрорежущих сталей, подвергавшихся оптимальной термической обработке, определяется не только их химическим составом, структурой и режимом резания, но сильно зависит от свойств обрабатываемого материала.

При резании сталей и сплавов с аустенитной структурой (нержавеющих, жаропрочных и др.), получающих все более широкое применение в промышленности, стойкость инструментов и предельная скорость резания могут сильно снижаться по сравнению с получаемыми при резании обычных конструкционных сталей и чугунов с относительно невысокой твердостью (до 220—250 *HV*). Это связано главным образом с тем, что теплопроводность аустенитных сплавов пониженная. Вследствие этого тепло, выделяющееся при резании, лишь в небольшой степени поглощается сходящей стружкой и деталью и в основном воспринимается режущей кромкой. Кроме того, эти сплавы сильно упрочняются под режущей кромкой в процессе резания, из-за чего заметно возрастают усилия резания.

Для резания подобных материалов, называемых труднообрабатываемыми, мало пригодны быстрорежущие стали умеренной теплостойкости, сохраняющие высокую твердость (60 *HRC*) и мартенситную структуру после нагрева не выше 615—620° С. Для обработки аустенитных сплавов необходимо выбирать быстрорежущие стали повышенной теплостойкости, а именно кобальтовые. Кобальт способствует выделению при отпуске наряду с карбидами также и частиц интерметаллидов, более стойких против коагуляции, и затрудняет процессы диффузии при температурах нагрева режущей кромки. Кобальтовые стали сохраняют твердость 60 *HRC* после более высокого нагрева: до 640—645° С. Кроме того, кобальт заметно (на 30—40%) повышает теплопроводность быстрорежущей стали, а следовательно, снижает температуры режущей кромки из-за лучшего отвода тепла в тело инструмента. Наконец, стали с кобальтом имеют более высокую твердость (до 68 *HRC* у стали P8M3K6C). Для сверл и

фрез, применяемых для резания аустенитных сплавов, рекомендуются кобальтовые стали марок P12Ф4К5 или P9M4K8.

Термическая обработка кобальтовых сталей принципиально не отличается от обработки других быстрорежущих сталей. Инструменты закаливают с очень высоких температур (1240—1250°C для стали P12Ф4К5 и 1210—1220°C для стали P9M4K8), что необходимо для растворения большого количества карбидов и насыщения аустенита (мартенсита) легирующими элементами: вольфрамом, молибденом, ванадием и хромом. Еще более высокий нагрев, дополнительно усиливающий перевод карбидов в раствор, недопустим: он вызывает рост зерна, что снижает прочность и вязкость. Структура стали после закалки: мартенсит, остаточный аустенит (15—30%) и избыточные карбиды, не растворяющиеся при нагреве и задерживавшие рост зерна. Твердость 60—62 *HRC*. Затем инструменты отпускают при 550—560°C (3 раза по 60 мин). Отпуска вызывает: а) выделение дисперсных карбидов и интерметаллидов из мартенсита (дисперсионное твердение), что повышает твердость до 66—69 *HRC*; б) превращает мягкую составляющую — остаточный аустенит в мартенсит; в) снимает напряжения, вызываемые мартенситным превращением.

После отпуска инструменты шлифуют, а затем подвергают карбонитрации, чаще всего жидкому в смеси KCN (80%) и K₂CO₃ (20%) при температуре 550—560°C с выдержкой 5—30 мин (в зависимости от сечения инструмента).

Твердость карбонитрированного слоя на глубину 0,02—0,05 мм достигает 69—70 *HRC*; заметно (~ на 50° C) возрастает и теплостойкость. При нагреве для карбонитрации снимаются также напряжения, вызванные шлифованием. Карбонитрация повышает стойкость инструментов в 2-4 раза. После карбонитрации целесообразно проведение оксидирования при 140°C в щелочном растворе или при 300°C в расплаве щелочей. Оксидирование придает инструментам черный цвет и несколько улучшает стойкость после воздушной коррозии.

Задачи по цветным металлам и сплавам.

Задание.

Многие изделия изготавливают из латуни вытяжкой из листа в холодном состоянии. Иногда в изделиях обнаруживаются трещины, возникающие без приложения внешних нагрузок (так называемое «сезонное растрескивание»). Объяснить сущность этого явления и указать способы его предупреждения. Подобрать марку латуни, не подверженной сезонному растрескиванию. Кроме того, описать структуру, механические и технологические свойства α - и $\alpha + \beta$ - латуней.

Решение.

Латуни в зависимости от содержания цинка и структуры можно разделить на три класса:

α -латуни	До 39,5% Zn
$\alpha+\beta'$ -латуни	От 39,5 до 45,7% Zn
β' -латуни	От 45,7 до 51% Zn

Увеличение содержания цинка изменяет структуру и свойства латуни (рис. 2). Увеличение содержания цинка до определенного предела повышает пластичность и прочность.

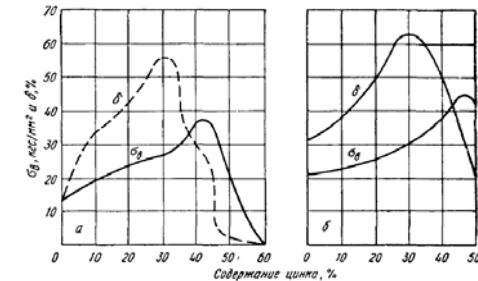


Рис. 2 Механические свойства латуни в зависимости от содержания цинка:
а – литая латунь; б – катанная и отожженная латунь

Пластичность достигает максимальных значений при 30-32% Zn, а прочность — при 40%. При дальнейшем увеличении содержания цинка прочность и пластичность снижаются.

Это изменение свойств определяется свойствами соответствующих фаз, образующихся при введении цинка.

α -фаза представляет твердый раствор типа замещения, пластичность и прочность которой возрастают по мере увеличения содержания цинка.

β' - твердый раствор на базе электронного соединения с центрированной кубической решеткой и упорядоченным расположением атомов. Эта фаза отличается повышенной хрупкостью и твердостью; поэтому образование β' -фазы снижает вязкость и повышает твердость.

При нагреве выше 450° С β' -фаза превращается в неупорядоченный твердый раствор β , отличающийся большей пластичностью, чем β' -фаза. Из диаграммы состояния видно, что $\alpha + \beta'$ -латуни приобретают при таком нагреве однородную структуру β' -твердого раствора, а следовательно, и большую пластичность (рис. 3).

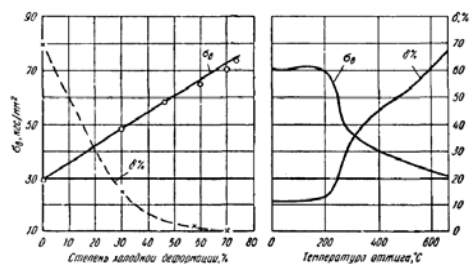


Рис. 3 Механические свойства латуни Л70 в зависимости:

а – от степени деформации; б – температуры отжига; П.д. – после деформации

Эти свойства фаз определяют технологический прогресс изготовления изделий из различных сортов латуни, а также их назначение. Изделия из α -латуни изготавливают главным образом холодной или горячей деформацией; обработка резанием не дает достаточно чистой поверхности. Изделия из $\alpha + \beta'$ -латуни изготавливают горячей (прессование, штамповка) или холодной деформацией (но без вытяжки) или обработкой резанием.

Изделия из α - или $\alpha + \beta'$ -латуни применяют в отожженном или же наклепанном состоянии, поскольку термическая обработка (закалка и отпуск) не дает заметного эффекта. В наклепанном состоянии (т. е. после холодной деформации) латунь обладает большой прочностью при пониженной вязкости (рис. 2). В результате последующего отжига прочность сплава понижается, но пластичность возрастает (рис. 3).

Холодная деформация латуни создает в изделии остаточные напряжения. Они возникают и в результате местной холодной деформации (при изгибе деталей, чеканке, развальцовке и т. п.). При вылеживании или эксплуатации в латунных изделиях иногда возникают трещины. «Сезонное растрескивание» наблюдается главным образом в латунях с содержанием более 20% Zn и отчетливо обнаруживается, например, в полых изделиях, прутках и т. д. Сезонное растрескивание усиливается в химически активных средах, особенно в парах аммиака, ртутных солях, ртути, мыльной воде и т. д.

Образование трещин является результатом совместного действия остаточных напряжений, созданных холодной деформацией (наиболее опасны растягивающие напряжения), и химически активных сред. Для предохранения от сезонного растрескивания нужен отпуск с нагревом до 200—300°C; это снимает большую часть остаточных напряжений и незначительно снижает прочность.

Но в условиях изготовления и монтажа конструкций с применением развальцовки, гибки и т. д. не всегда возможно избежать возникновения местных, даже незначительных деформаций, а

следовательно, и сезонного растрескивания. В таких случаях применяют более дорогие (и имеющие меньшую прочность), но не склонные к сезонному растрескиванию латуни Л96 и Л90.

Механические свойства и состав этих латуней, а также широко применяемой латуни Л70 и типичной $\alpha + \beta'$ - латуни ЛС59-1 приведены в таблице 2.

Таблица 2. Состав и механические свойства латуней

Структурный класс сплава	Марка	Cu,% (остальное Zn)	Примеси (Fe, Si и др.), %	Механические свойства (не менее)	
				σ_B , МПа	δ , %
α - латунь	Л96	95-97	$\leq 0,30$	230	35
	Л90	89-90	$\leq 0,30$	270	38
	Л80	79-81	$\leq 0,30$	280	45
	Л70	67-70	$\leq 0,30$	300	55
$\alpha + \beta'$ - латунь	ЛС59-1	58-61	0,75	350	30
		Pb 0,8-1,9		400*	15*

* Для отожженных лент и листов, а также для прессованных прутков

Латуни Л96 и Л90 обладают высокой теплопроводностью.

Латуни можно заменить алюминиевой бронзой, не склонной к сезонному растрескиванию и обладающей аналогичными значениями прочности и пластичности.

Задачи для самостоятельной работы студентов.

Типовые задачи по конструкционным сталям, чугунам, полимерным материалам.

1. Выбрать сталь для изготовления валов диаметром 50 мм для двух редукторов. По расчету сталь для одного из валов должна иметь предел текучести не ниже 350 МПа, а для другого — не ниже 500 МПа. Указать: 1) состав и марку выбранных сталей; 2) рекомендуемый режим термической обработки; 3) структуру после каждой операции термической обработки; 4) механические свойства в готовом изделии. Указать, можно ли применять углеродистую сталь обыкновенного качества для изготовления валов требуемого сечения и прочности?

2. Кузов автомобиля изготавливают холодной вытяжкой стального листа. Выбрать марку стали для листа. Указать химический состав стали и особенности ее производства, обеспечивающие повышенную способность к значительной вытяжке.

3. Ведущая ось крановой тележки диаметром 70 мм была изготовлена из стали Ст5. При реконструкции крана, предпринятой для увеличения его грузоподъемности, конструктор не изменил диаметра ведущей оси, а заменил материал оси другой сталью с пределом текучести, в 1,5 раза более высоким. Указать марку углеродистой

качественной и легированной стали, из которой можно изготовить ось тележки; рекомендовать режим термической обработки и сопоставить механические свойства стали выбранных марок с аналогичными свойствами стали Ст5.

4. Коленчатый вал двигателя легкового автомобиля экономично изготавливать из чугуна — материала, мало чувствительного, кроме того, к надрезу. Для этого назначения используют чугун повышенного качества. Выбрать класс и марку чугуна с пределом прочности не ниже 400 МПа и относительным удлинением 2—3%. Указать структуру выбранного чугуна и форму выделения графита и объяснить, какие изменения в этом случае надо внести в условия выплавки.

5. Станины станков изготавливают литьем. Предел прочности должен быть 200—250 МПа. Выбрать марку сплава, пригодного для изготовления станины, имеющей неодинаковую толщину в разных сечениях, и указать режим термической обработки станины и структуры сплава. При решении задачи учесть, что в литой детали необходимо иметь возможно меньше напряжений и термическая обработка должна предупредить деформацию (коробление) станины в процессе эксплуатации станка.

6. Заводу нужно изготовить зубчатые колеса сложной формы диаметром 50 мм и высотой 100 мм. Они должны иметь твердость на поверхности не ниже 58—60 HRC, а в сердцевине предел прочности не ниже 400 МПа и ударную вязкость не ниже 500—600 кДж/м². Завод изготовил первую партию зубчатых колес из углеродистой цементуемой стали, однако некоторые зубчатые колеса получили

деформацию при закалке. Выбрать сталь и рекомендовать режим термической обработки после цементации для получения заданных механических свойств

и предупреждения брака по деформации. Указать структуру стали в сердцевине и поверхностном слое после окончательной обработки и причины, вызывающие деформацию при закалке.

7. Многие крупные детали для железнодорожного транспорта, например автосцепки, изготавливают литыми. Для повышения механических свойств отливки подвергают термической обработке. Выбрать марку стали и обосновать режим термической обработки, если предел прочности должен быть не ниже 350 МПа. Указать структуру и механические свойства стали после литья и после термической обработки.

8. Для изготовления вкладышей подшипников некоторых механизмов вместо цветных металлов (латуни и бронзы) успешно применяют более дешевый антифрикционный серый чугун. Указать, какая структура металлической основы серого чугуна и форма выделения графита являются наиболее пригодными для того, чтобы

обеспечить повышенную износостойкость вкладыша. Привести примерные механические свойства выбранного чугуна, если наименьшая толщина вкладыша составляет 15—20 мм.

9. Рессоры трехтонного грузового автомобиля изготавливаются из листов стали 60С2 толщиной 10 мм, которые после закалки и отпуска должны получить высокую прочность по всему сечению. Для автомобиля большей грузоподъемности рессоры должны быть толщиной 20 мм, и тогда в стали 60С2 уже нельзя обеспечить равномерного упрочнения по всему сечению. Рекомендовать марку стали для подобных рессор и режим термической обработки, позволяющий получить высокую прочность по всему сечению.

10. В термическом цехе обрабатывают зубчатые колеса диаметром 30 мм, изготовленные из стали 20Х. Цех отказался от выполнения цементации в твердом карбюризаторе и наметил более производительный процесс жидкого цианирования. Сравнить условия и режим всего цикла химико-термической и термической обработки зубчатых колес в случае выполнения цементации в твердом карбюризаторе и цианирования. Требуемая толщина поверхностного твердого слоя 0,4—0,6 мм.

Типовые задачи по инструментальным сталям и сплавам

1. Завод должен изготовить долбяки, обрабатывающие с динамическими нагрузками конструкционные стали с твердостью 200—230 *НВ*. Выбрать марку быстрорежущей стали, наиболее пригодной для этого назначения, рекомендовать режим термической обработки и указать структуру и свойства (для долбяков наружным диаметром 60 мм).

2. Инструменты из быстрорежущих сталей имеют недостаточную стойкость при резании с повышенной скоростью (более 80—100 м/мин). Выбрать марку инструментальных сплавов, пригодных для резания с высокой скоростью: а) сталей; б) чугунов. Указать состав, структуру и свойства выбранных сплавов и сопоставить их с аналогичными свойствами быстрорежущих сталей. Объяснить причины, по которым для обработки стали следует выбрать сплав другого состава, чем для обработки чугуна.

3. При обработке стали с твердостью более 280—300 *НВ* резцы из быстрорежущей стали не имеют достаточной стойкости. Указать состав сплава, обладающего более высокими режущими свойствами. Вследствие высокой стоимости и большей хрупкости такого сплава привести способ изготовления составных резцов и указать металл, из которого следует изготовить державку резца. Сопоставить структуру, твердость, теплостойкость и способ изготовления выбранного сплава с аналогичными характеристиками быстрорежущей стали.

4. На машиностроительном заводе изготавливают зубчатые колеса из прутков стали 40X, поставляемой металлургическим заводом с твердостью 160—180 *HV*. Одна плавка стали, доставленная заводу, имела твердость 230—250 *HV*. Для обработки стали повышенной твердости требовалось снижение режимов резания, принятых на заводе. Указать способ и режим термической обработки, позволяющей улучшить обрабатываемость резанием стали этой плавки. Привести химический состав, структуру и режим термической обработки стали для фрез, пригодных для обработки стали 40X.

5. Получение заготовок горячей деформацией является производительным способом обработки. Выбрать марку стали для изготовления крупного молотового штампа (размерами 500 X 400 X 400 мм); рекомендовать режим термической обработки штампа и указать микроструктуру и механические свойства после отпуска. Объяснить, почему подобные штампы не следует изготавливать из углеродистой стали.

6. Для пуансонов горячего выдавливания — операции, при которой штамп длительное время находится в соприкосновении с нагретым деформируемым металлом, необходимы теплостойкие штамповые стали. Выбрать сталь для пуансонов выдавливания жаропрочных сплавов: для этих условий обработки штампованная сталь должна сохранять повышенные прочностные свойства при нагреве до 700—720°C. Рекомендовать режим термической обработки штампов и ее структуру в готовом штампе.

7. Изделия из пластмасс изготавливают прессованием при невысоком нагреве (~ 150° C). Материал прессформы, в которую прессуются пластмасса, должен обладать высокой износостойкостью. Выбрать марку стали и режим обработки для прессформ: а) простой формы и небольших размеров; б) сложной формы; учесть при этом, что обрабатываемость стали резанием должна быть хорошей; кроме того, деформация прессформы при термической обработке должна быть минимальной.

8. Выбрать марку стали для изготовления топоров. Лезвие топора не должно сминаться или выкрашиваться в процессе работы; поэтому оно должно иметь твердость в пределах 50—55 *HRC* на высоту не более 30—40 мм; остальная часть топора не подвергается закалке и имеет более низкую твердость. Указать химический состав стали, режим термической обработки, обеспечивающий получение твердости в пределах 50—55 *HRC*, а также способ закалки, позволяющий получить эту твердость только в лезвии топора.

9. Выбрать марку стали для изготовления продольных пил по дереву и указать режим термической обработки, микроструктуру и твердость готовой пилы. Режим термической обработки выбирается

таким образом, чтобы предупредить деформацию пины при закалке и отпуске, а также обеспечить получение в стали высоких упругих свойств после отпуска (пила должна «пружинить»).

10. Штампы для холодной чеканки медных сплавов и мягких сталей должны сочетать высокие твердость и сопротивление пластической деформации (что предупреждает преждевременное смятие рабочей фигуры штампа) с удовлетворительной вязкостью. Выбрать марку стали для чеканочных штампов, указать ее термическую обработку и структуру в готовом штампе. Объяснить причины, по которым для этого назначения мало пригодны стали с высоким содержанием углерода (~1%).

Типовые задачи по цветным металлам и сплавам

1. Трубки в паросиловых установках должны быть стойки против коррозии. Подобрать марку сплава на медной основе, пригодного для изготовления трубок и не содержащего дорогих элементов; привести состав выбранного сплава. Указать способ изготовления трубок и сравнить механические свойства выбранного сплава, получаемые после окончательной обработки, с механическими свойствами стали, стойкой против коррозии в тех же средах.

2. Многие детали изготавливают из листа способом глубокой вытяжки. Выбрать состав цветного сплава, обладающего высокой пластичностью и хорошей способностью принимать вытяжку; привести его состав и структуру. Указать режим и назначение термической обработки, применяемой между отдельными операциями вытяжки для повышения пластичности, а также механические свойства после вытяжки и после термической обработки. Привести состав стали, применяемой для глубокой вытяжки, и сопоставить механические свойства выбранного цветного сплава с аналогичными свойствами стали.

3. В химическом машиностроении применяют специальные латуни для изготовления литьем коррозионностойких тяжело нагруженных деталей. Выбрать марку сплава с пределом прочности не ниже 450 МПа, привести его состав, механические свойства, структуру и указать в каких средах такой сплав является устойчивым. Сопоставить механические свойства латуни выбранного состава с аналогичными свойствами латуни ЛС59-1 и указать область применения латуни ЛС59-1.

4. Каркас самолета, рассчитанного на полет с дозвуковыми скоростями и воспринимающего значительные нагрузки, изготавливают часто из легкого сплава с пределом прочности не ниже 400 МПа. Привести состав и плотность сплава, а также режим

термической обработки, структуру. Указать его механические свойства после каждой операции термической обработки, объяснив, какие превращения в сплаве способствуют повышению прочности. Сопоставить механические свойства выбранного сплава с механическими свойствами хромоникелевой нержавеющей стали. При сопоставлении учесть, что детали должны обладать минимальной удельной прочностью при данной температуре.

5. Вращающиеся детали многих установок реактивной техники, нагреваемых до 500—600° С, необходимо изготавливать из сплавов с меньшей плотностью (~4,5 г/см³), чем у стали. Выбрать марку сплава и сравнить его жаропрочность (длительную прочность для 1000 ч) при 500°С с аналогичными свойствами: а) дуралюмина; б) жаропрочной стали 1Х18Н9Т.

6. Головки поршневых авиационных двигателей, работающих при повышенных температурах, изготавливают из легких сплавов литьем. Привести химический состав сплава, применяемого для этой цели, указать роль отдельных компонентов сплава, его структуру и механические свойства.

7. Сварные бензиновые и масляные баки, от материала которых не требуется высоких механических свойств, изготавливают в авиапромышленности из легких листовых сплавов, обладающих повышенной стойкостью против коррозии, пластичностью и способностью хорошо принимать сварку. Рекомендовать состав сплава, пригодного для данного назначения, указать его структуру и механические свойства. Для сравнения привести химический состав, а также режим термической обработки и структуру стали, стойкой против коррозии в указанных средах.

8. Уменьшение массы поршня в двигателях внутреннего сгорания дает повышение мощности. Рекомендовать состав сплава с минимальной плотностью, при-

годного для изготовления поршней. Указать химический состав сплава, его механические свойства и режим обработки. Сопоставить плотность и механические свойства выбранного сплава с аналогичными характеристиками сплавов на алюминиевой основе, применяемых для изготовления поршней.

9. В химическом машиностроении наряду с нержавеющей хромоникелевой сталью применяют также для изготовления особо ответственных деталей сплав на никелевой основе, обладающий высокой пластичностью и устойчивостью против действия влаги, кислот и щелочей. Указать химический состав сплава, его структуру и условия применения в конструкциях (в отношении сочленения с другими металлами). Сопоставить структуру, механические свойства и степень стойкости против коррозии в указанных средах выбранного

сплава с такими же свойствами нержавеющей хромистой и хромоникелевой сталей.

10. Состав сплавов для заливки вкладышей валов выбирают с учетом мощности двигателя. Указать химический состав подшипникового сплава, применяемого для заливки вкладышей турбокомпрессоров и турбонасосов мощностью до 500 л. с. и выше. Указать структуру и принцип построения сплава, а также роль и значение отдельных элементов, вводимых в сплав. Сравнить состав, свойства и области применения выбранного сплава и подшипникового сплава на медной основе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Геллер, Ю.А. *Материаловедение* / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт // М.: *Металлургия*, 1983. - 384 с.
2. Гуляев, А.П. *Металловедение* / А.П. Гуляев. М.: *Металлургия*, 1966. - 480 с.
3. Лахтин, Ю.М. *Материаловедение* / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьев // М.: *Машиностроение*, 1973. - 511 с.
4. *Материалы в машиностроении. Справочник: Т. 1—5.* М.: *Машиностроение*, 1969—1970.
5. *Металловедение и термическая обработка. Справочник: Т. 1—2.* М.: *Металлургиздат*, 1961—1962.
6. Шмыков, А.А. *Справочник термиста Изд. 4-е.* / А.А. Шмыков. М.: *Машиностроение*, 1961. - 392 с.
7. Геллер, Ю.А. *Инструментальные стали* / Ю.А. Геллер. М.: *Металлургия*, 1968. - 568 с.
8. Рахштадт, А.Г. *Пружинные стали и сплавы* / А.Г. Рахштадт. М.: *Металлургия*, 1971. - 496 с.
9. Химушин, Ф.Ф. *Жаропрочные стали и сплавы. Изд. 2-е./Ф.Ф. Химушин.* М.: *Металлургия*, 1969. - 749 с.
10. Химушин, Ф.Ф. *Нержавеющие стали. Изд. 2-е./Ф.Ф. Химушин.* М.: *Металлургия*, 1967. - 798 с.

Приложение 1. Характеристики медных сплавов

<u>Марки сплава</u>	<u>Химический состав, %</u>					<u>Назначение</u>
	<u>Cu</u>	<u>Al</u>	<u>Pb</u>	<u>Sn</u>	<u>Другие элементы</u>	
<u>Простые латуни</u>						
<u>Пластичные (однофазные), деформируемые в холодном и горячем состоянии</u>						
Л96 (томпак)	95,0-97,0	-	-	-	-	Трубы радиаторные, листы, ленты
Л80 (полутомпак)	79,0-81,0	-	-	-	-	Листы, ленты, для глубокой вытяжки
<u>Меньше пластичности (двухфазные), деформируемые в горячем состоянии и литейные</u>						
ЛС59-1	57,0-60,0	-	0,8-1,9	-	-	Листы, трубы, литье (хорошая обрабатываемость резанием)
<u>Сложные латуни повышенной стойкости против коррозии</u>						
ЛА77-2	76,0-79,0	1,75-2,5	-	-	-	Трубы в морском и общем машиностроении
<u>Литейные (двухфазные) по ГОСТ17711-80</u>						
ЛА67-2,5	66-68	2-3	0,7	-	-	Отливки в морском и общем машиностроении
<u>Сложные латуни повышенной прочности и стойкости против коррозии. Обрабатываемые давлением (однофазные)</u>						
ЛАН59-3-2	57,0-60,0	2,5-3,5	-	-	2-3 Ni	Трубы, тяжело нагруженные детали в моторо- и судостроении

Приложение 2. Характеристики бронз

Марка сплава	Химический состав, %					Назначение
	Sn	P	Zn	Ni	Pb	
<u>Оловянные бронзы. Обрабатываемые давлением (однофазные) ГОСТ 5017-74</u>						
Бр.ОФ6,5-0,15	6,0-7,0	0,1-0,25	-	-	-	Ленты, сетки в аппаратостроении, бумажной промышленности. Мембраны, пружины, детали, работающие на трение
<u>Литые (двухфазные)</u>						
Бр.ОНС11-4-3	-	-	4	-	3	Шестерни, втулки, подшипники, повышенная пластичность при нагреве; втулки клапанов
<u>Алюминиевые бронзы по ГОСТ 18175-78. Высокой прочности (двухфазные)</u>						
Бр.АЖН10-4-4	-	-	-	3,5-5,5	9,5-11 (Al), 3,5-5,5 (Fe)	Шестерни, втулки, арматура, в том числе для работы в морской воде (прокат, литье); для работы при больших давлениях и трении
<u>Кремнистые бронзы по ГОСТ 18175-78</u>						
Бр.КН1-3	-	-	-	2,4-3,4	0,6-1,1 (Si), 0,1-0,4 (Mn)	Втулки, клапаны, болты и другие детали для работы в морской и сточной водах
<u>Бериллиевые бронзы по ГОСТ 18175-78</u>						
Бр.БНТ1,9Mg	-	-	-	0,2-0,4	(Be), 0,1-0,25 (Ti), 0,07-0,13	Высокопрочные и токопроводящие пружины, мембраны, сильфоны

Приложение 3. Характеристики алюминиевых сплавов

<u>Марка сплава</u>	<u>Химический состав, %</u>				<u>Назначение</u>
	<u>Cu</u>	<u>Mg</u>	<u>Si</u>	<u>Другие элементы</u>	
<u>Деформируемые сплавы по ГОСТ 4784-74</u>					
В96 (Сплав высокой прочности)	1,4-2,0	1,8-2,8	≤0,5	0,2-0,9 (Mn), 5,0-7,0 (Zn), 0,1-0,25 (Cr)	Ланжероны самолетов, лопасти, шпангоуты, сплав высокой прочности
<u>Литейные сплавы по ГОСТ 2685-75. Сплавы с повышенными литейными свойствами и коррозионной стойкостью во влажной атмосфере (алюминиевокремнистые сплавными)</u>					
АЛ3	1,5-3,0	0,35-0,6	4,5-5,5	0,6-0,9 (Mn)	Корпуса и детали приборов, крупные нагружаемые детали моторов (блоки головок, картеры)
<u>Сплавы с повышенными механическими свойствами</u>					
АЛ8 (алюминиевомагниево-магналии)	-	9,5-10,0	-	-	Ответственные узлы несложной формы, работающие при ударной нагрузке во влажной атмосфере
АЛ7 (алюминиевомедные)	4,0-5,0	-	-	-	Детали средней нагруженности: педали, рычаги, арматура; литейные свойства ниже, чем у магния
АЛ20 (жаропрочные)	3,5-4,5	0,7-1,2	1,5-2	1,2-1,7 (Fe), 0,15-0,3 (Mn), 0,15-0,5 (Cr), 0,05-0,1 (Ti)	Головки и поршни цилиндров и другие детали двигателей внутреннего сгорания.
САП	Сплавляемые сплавы				Детали из листа, профильного проката, нагревающиеся до 300-325°C
	Алюминий и 20-22% Al ₂ O ₃				

Приложение 4. Характеристики полимерных материалов

<u>Наименование материала</u>	<u>$\sigma_{\text{в}}, \text{МПа}$</u>	<u>$E, \text{МПа}$</u>	<u>Плотность, $\frac{\text{т}}{\text{м}^3}$</u>	<u>Другие свойства</u>	<u>Назначение</u>
Полиэтилен	40	200	0,9	Стойкость в кислотах (кроме азотной и перекисей)	Трубы, баки, краны
Полипропилен	30	600	0,9	Стойкость в растворах кислот и щелочей	Трубы, клапаны, детали насосов
Поликарбонаты	60-70	220-250	1,17-1,22	Стойкость в смазочных маслах (разрушаются щелочами и бензолом)	Резьбовые соединения
Полиамиды	60-70	-	1,1	Низкий коэффициент трения (0,055), в два раза ниже, чем у стали; стойкость в маслах, бензине, щелочах	Подшипники, зубчатые передачи, втулки, прокладки
<u>Слоняные пластмассы</u>					
Текстолит	60-100	380	1,7-1,9	Низкий коэффициент трения	Шестерни, подшипники, вкладыши
Стеклотекстолит	220-245	13000	1,6-1,9	Относительно высокая теплостойкость, анизотропия свойств, зависящие от структуры стекляной ткани	Крупногабаритные конструкции для длительной работы при 200°C и кратковременной при 300 °С
<u>Композиционные термореактивные пластмассы</u>					
На основе фенолальдегидных смол марок К-18-56 и К-8-56 (по ГОСТ 56-89-79)	28-80		1,75	Стойкость в воде, влажном климате, кислотах и при температуре от -40 до +120 °С	Резьбовые соединения

Приложение 5. Обобщенные параметры типовых методов

упрочнения

<u>Метод упрочнения</u>	<u>Дополнительные требования к методу упрочнения</u>	<u>Эффективность применения методов упрочнения</u>	<u>Типовые изделия, подвергаемые данному виду упрочнения</u>
<p>Закалка объемная, отпуск средний, твердость по сечению 40-45 HRC</p> <p>Закалка объемная, отпуск высокий, твердость по всему сечению 25-40 HRC</p>	<p>Необходимость обеспечения требуемой прокаливаемости по сечению при наличии мелкого наследственного зерна (балл 5-7)</p>	<p>Повышение сопротивления хрупкому разрушению</p> <p>Повышение предела выносливости на 30-40%, долговечности от двух до пяти раз, предела контактной выносливости на 25-50%, сопротивления фреттинг-коррозии в 2-5 раз</p>	<p>Пружины, рессоры</p> <p>Валы, оси, шатуны, детали ходовой части автомобилей, тракторов</p>
<p>Поверхностная закалка стали т.в.ч. (глубина слоя 2-5 мм) низкий отпуск, твердость поверхностного закаленного слоя 56-60 HRC, твердость сердцевины 20-25 HRC</p>	<p>зоны и концентратором напряжений должно быть не более 5 мм или же зона их концентрации должна быть упрочнена закалкой т.в.ч. или некарбидных структур в периферийной зоне на расстоянии свыше 0,015 мм от поверхности вследствие внутреннего окисления цементованного слоя, отсутствие темной составляющей в структуре нитроцементованного</p>	<p>Повышение предела выносливости на 50-80%, предела контактной выносливости на 60-100%, износостойкости в 3-10 раз, долговечности в 5-10 раз, сопротивления фреттинг-коррозии в 2-5 раз</p>	<p>Колесные валы, полуоси, распределвалы, зубчатые колеса, карданные валы</p>
<p>Цементация (глубина слоя 0,5-2 мм) или нитроцементация (глубина слоя 0,4-1 мм), закалка, низкий отпуск, твердость поверхностного слоя 58-62 HRC, твердость сердцевины 28-40 HRC</p>	<p>Контроль интенсивности наклепа с использованием специальных пластинок калибров</p>	<p>Повышение предела выносливости на 30-50%, долговечности от 3 до 10 раз, сопротивления фреттинг-коррозии в 1,5-2 раза</p>	<p>Зубчатые колеса станков, автомобилей, тракторов, крупные подшипники качения</p>
<p>Наклеп поверхности (глубина слоя 0,1-0,2 мм), после упрочняющей термической обработки</p>			<p>Пружины, рессоры, торсионные валы, полуоси, коленчатые валы, поворотные кулаки, зубчатые колеса</p>

