

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА

ОПИСАНИЕ МИКРОСТРУКТУР ДВОЙНЫХ СПЛАВОВ СВИ-  
НЕЦ-СУРЬМА, ТРОЙНЫХ СПЛАВОВ КАДМИЙ-СВИНЕЦ-  
ВИСМУТ, ЧУГУНОВ, УГЛЕРОДИСТЫХ И ЛЕГИРОВАННЫХ  
СТАЛЕЙ.  
ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ

*Методические указания к лабораторным работам*

САМАРА 2000

Составитель: **В.С. Уварова**

УДК 669.01

**Описание микроструктур сплавов и их назначение:** методические указания к лабораторным работам / Самарский государственный аэрокосмический университет. Сост.: В.С.Уварова. Самара, 2000. **XX с.**

Приведены данные по химическому составу, микроструктуре, классификации, свойствам и области применения двойных сплавов свинец-сурьма, тройных сплавов кадмий-свинец-висмут, чугунов, углеродистых и легированных сталей.

Методические указания предназначены для студентов металлургической и механической специальностей авиационного профиля при выполнении ими лабораторных работ или практических занятий. Работа выполнена на кафедре “Технология металлов и авиаматериаловедение”.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева

Рецензент доцент М.Г. Лосев

## МИКРОСТРУКТУРА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ “СВИНЕЦ-СУРЬМА”

№ шлифа	Химический состав (%)	Тип сплава	Структурные составляющие по диаграмме состояния “Pb-Sb”	Описание микроструктуры
1	2	3	4	5
1	Sb 2 Pb 98	Доэвтектический	Pb + э(Pb+Sb)	Темные кристаллы избыточного свинца со следами дендритного строения на фоне пестрой эвтектики, состоящей из механической микросмеси кристаллов темного свинца и светлой сурьмы. Свинец, входящий в эвтектику, коалесцирует (срастается) с избыточными кристаллами свинца.
2	Sb 8 Pb 92	Доэвтектический	Pb + э(Pb+Sb)	Темные избыточные кристаллы свинца на фоне пестрой эвтектики, занимающей большую площадь шлифа.
3	Sb 13 Pb 87	Эвтектический	э(Pb+Sb)	Вся площадь шлифа занята пестрой эвтектикой.
4	Sb 25 Pb 75	Заэвтектический	Sb + э(Pb+Sb)	Светлые избыточные кристаллы сурьмы в виде многогранников на фоне пестрой эвтектики.
5	Sb 70 Pb 30	Заэвтектический	Sb + э(Pb+Sb)	Очень крупные светлые избыточные кристаллы сурьмы, занимающие подавляющую площадь шлифа, на фоне пестрой эвтектики.

## МИКРОСТРУКТУРА СПЛАВОВ СИСТЕМЫ “КАДМИЙ-СВИНЕЦ-ВИСМУТ”

№ шлифа	Химический состав (%)	Структурные составляющие по диаграмме состояния “Cd-Pb-Bi”	Описание микроструктуры
1	2	3	4
1	Pb 20 Bi 10 Cd 70	Cd + $\varepsilon_2$ (Cd+Pb)+ $\varepsilon_3$ (Cd+Pb+Bi)	Светлые кристаллы (дендриты) избыточного кадмия, очень малые участки двойной эвтектики “кадмий-свинец”, примыкающие к зернам кадмия, и темная тройная эвтектика “кадмий-свинец-висмут”. Наблюдается явление коалесценции, то есть присоединение кадмия из двойной и тройной эвтектик к избыточному кадмию.
2	Pb 20 Bi 25 Cd 55	Cd + $\varepsilon_3$ (Cd+Pb+Bi)	Светлые кристаллы (дендриты) избыточного кадмия на фоне темной тройной эвтектики “кадмий-свинец-висмут”. В дендритах кадмия иногда проявляется слоистое (“луковичное”) строение, которое, вероятно, является следствием выделения примесей на поверхностях кристаллизующихся дендритов.
3	Pb 20 Bi 45 Cd 35	Cd + $\varepsilon_2$ (Cd+Bi)+ $\varepsilon_3$ (Cd+Pb+Bi)	Небольшие светлые зерна избыточного кадмия; большие участки сравнительно крупнозернистой двойной эвтектики “кадмий-висмут”, представляющей смесь светлых зерен кадмия и висмута, на темном фоне тройной мелкозернистой эвтектики “кадмий-свинец-висмут”.



1	2	3	4
4	Pb 20 Bi 60 Cd 20	$\varepsilon_2(\text{Cd+Bi})+$ $\varepsilon_3(\text{Cd+Pb+Bi})$	Темная мелкозернистая тройная эвтектика “кадмий-свинец-висмут” и более светлая крупнозернистая двойная эвтектика “кадмий-висмут”.
5	Pb20 Bi 70 Cd 10	Bi + $\varepsilon_2(\text{Cd+Bi})+$ + $\varepsilon_3(\text{Cd+Pb+Bi})$	Светлые, крупные, резко очерченные, часто квадратной формы кристаллы избыточного висмута и темная тройная эвтектика “кадмий-свинец-висмут”. Местами видна более крупнозернистая вырожденная двойная эвтектика “кадмий-висмут”
6	Pb 20 Bi 76,5 Cd 3,5	Bi + $\varepsilon_3(\text{Cd+Pb+Bi})$	Светлые, резко очерченные кристаллы избыточного висмута и темная тройная эвтектика “кадмий-свинец-висмут”. Видны так же участки вырожденной двойной эвтектики “кадмий-висмут”, как следствие неравновесной кристаллизации.

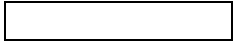
## МИКРОСТРУКТУРА ЧУГУНОВ

№ шлифа	Марка чугуна	Структурные составляющие	Описание микроструктуры
1	2	3	4
1	Белый доэвтектический	П + Ц + Л	Темные участки перлита, светлый блестящий цементит в виде прослоек и колонии пятнистого ледебурита, в которых небольшие включения темного перлита расположены на светлом фоне цементита.
2	Ковкий чугун на ферритной основе	Ф + Гр	Серые хлопьевидные гнезда графита на фоне светлых зерен (полиэдров) феррита (черносердечный ковкий чугун).
3	Ковкий чугун на перлитно-ферритной основе	Ф + П + Гр	Серые хлопьевидные гнезда графита окружены кольцом светлого феррита. Остальная площадь шлифа занята темным перлитом (белосердечный ковкий чугун).
4	Серый чугун на перлитно-ферритной основе	Ф + П + Гр	Серые пластинчатые (чешуйчатые) включения графита на фоне зерен светлого феррита и темного перлита.
5	Высокопрочный, модифицированный магнием чугун на ферритной основе	Ф + Гр	Серые включения шаровидного графита на фоне светлых зерен (полиэдров) феррита.
6	Высокопрочный чугун на перлитно-ферритной основе	П + Ф + Гр	Серые включения шаровидного графита окружены кольцом светлого феррита. Остальная площадь шлифа занята темным перлитом.

## СВОЙСТВА И НАЗНАЧЕНИЯ ЧУГУНОВ

Вид чугуна	Марки	Механические свойства				Назначение
		$\sigma_B, \frac{кгс}{мм^2}$	$\sigma_{изг}, \frac{кгс}{мм^2}$	$\delta, \%$	НВ	
1	2	3	4	5	6	7
Белый чугун	Доэвтек- тический				450 на поверхности	<u>Белый чугун</u> –прочен и даже хрупок при большом со- держании углерода в нем. Поэтому 90% выплавленно- го белого чугуна переделывается в сталь (передельный чугун). Белые чугуны чувствительны к скорости ох- лаждения, поэтому получают отливки из половинчато- го чугуна: валки некоторых прокатных станов, железн- нодорожные вагонные колеса, шары для мельниц. За счет большой скорости охлаждения поверхность дан- ных изделий имеет структуру белого чугуна, а в глу- бине, где скорость охлаждения резко снижается, полу- чается структура серого чугуна.
Ковкий чугун на ферритной основе	КЧ 30-6	30	-	6	100-169	<u>Ковкие чугуны</u> получают отжигом_(томлением) отли- вок, изготовленных из доэвтектического белого чугу- на. Детали из КЧ 30-6 и КЧ 33-8 работают в условиях низких и средних статических и динамических нагру- зок: хомутики, гайки, клапаны, ниппели, тройники, фланцы, муфты, кронштейны, держатели. Детали из КЧ 35-10 и КЧ 37-12 отличаются повышенной прочно- стью и вязкостью, поэтому выдерживают более высо- кие статические и динамические нагрузки: картеры редукторов, задний мост, ступицы, скобы...
	КЧ 33-8	33	-	8	100-149	
	КЧ 35-10	35	-	10	100-149	
	КЧ 37-12	37	-	12	110-149	
Ковкий чугун на перлито- ферритной основе.	КЧ 45-6	45	-	6	150-207	Детали из КЧ 45-6 и КЧ 50-5 работают при высоких статических и динамических нагрузках, в условиях тяжелого износа: звенья приводных цепей, буксы, втулки, рычаги, ролики цепей конвейеров, тормозные колодки.
	КЧ 50-5	50	-	5	170-230	





*Продолжение*

1	2	3	4	5	6	7
Серый чугун на перлитно-ферритной основе.	СЧ 10	10	28		143-229	Детали работают при низких динамических нагрузках и трении: основания металлообрабатывающих станков, корпуса, стойки, крышки, фланцы, рычаги, маховики.
	СЧ 15	15	32		163-229	
	СЧ 18	18	36		170-229	
Серый чугун на перлитной основе	СЧ 30	30	50		230-250	Детали испытывают средние динамические нагрузки: корпуса гидронасосов, стойки станков, станины, гидроцилиндры, головки и гильзы цилиндров...
	СЧ 40	40	60			
	СЧ 45	45	64			
Высокопрочный чугун на ферритной основе.	ВЧ 38-17	38		17	140-170	Детали работают при больших нагрузках: кронштейны, звездочки, шестерни, крышки цилиндров, тормозные диски.
	ВЧ 40-10	40		10	156-197	
	ВЧ 42-12	42		12	140-200	
Высокопрочный чугун на перлитно-ферритной основе.	ВЧ 45-5	45		5	170-207	Детали работают в довольно тяжелых условиях и высоких давлениях: коленчатые валы автомобильных и тракторных двигателей, картеры, корпуса паровых турбин, траверсы прессов, детали кузнечно-прессового оборудования, вентили и насосы, работающие в коррозионных средах.
	ВЧ450-1.5	50		1.5	187-255	
	ВЧ 60-2	60		2	197-269	

Примечание: Новая маркировка высокопрочных чугунов: ВЧ 38, ВЧ40, ВЧ 42, ВЧ 45, ВЧ 50, ВЧ 60.

## МИКРОСТРУКТУРА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

№ шлифа	Тип стали	Структурные составляющие по диаграмме состояния "Fe-Fe <sub>3</sub> C"	Описание микроструктуры
1	2	3	4
1	Доэвтектоидная	Ф + П	Светлые зерна (полиэдры) феррита и малочисленные островки темного перлита между ними.
2	- // -	Ф + П	Светлые зерна феррита и островки темного перлита, занимающие несколько большую площадь шлифа.
3	- // -	Ф + П	Темные зерна перлита и светлые зерна феррита.
4	- // -	П + Ф	Темные зерна перлита и остатки светлого феррита, расположенные по сетке.
5	Эвтектоидная	П	Вся площадь шлифа занята темным пластинчатым перлитом. Лишь в отдельных местах встречается перлит зернистого строения.
6	Заэвтектоидная	П + Ц <sub>II</sub>	Темные зерна мелкопластинчатого перлита окружены тонкой, светлой, непрерывной сеткой цементита вторичного.

## СВОЙСТВА И НАЗНАЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННОЙ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ, ГОСТ 1050-71; ГОСТ М35-74

Тип стали	Марки стали	Механические свойства (не более)			Назначение
		$\sigma_B, \frac{кгс}{мм^2}$	$\delta, \%$	НВ, в состоянии поставки (горячекатаная)	
1	2	3	4	5	6
Доэвтектоидная	08	33	33	131	Малонагруженные детали: шестерни звездочки, тяги, вилки, шайбы, ролики, оси, подвергающиеся цементации.
	10	34	31	143	
	15	38	27	149	
	20	42	25	163	
	25	46	23	170	Средненагруженные детали : шестерни, валы, оси, винты, штифты, упоры, кольца, шайбы, втулки, шпиндели, болты, гайки, крепежные детали.
	30	50	21	179	
	35	54	20	187	
	40	58	19	217	Средненагруженные детали: шатуны, валы, шестерни, пальцы, зубчатые колеса, оси, муфты, гайки, шпонки, пальцы траков, ходовые валики, ходовые винты станков.
	45	61	16	229	
	50	64	14	241	Высоконагруженные детали: шестерни, муфты, прижимные кольца, пружины, валы, зубчатые колеса, штоки, пальцы траков, муфты сцепления коробок передач, корпуса форсунок.
	55	66	13	255	
	60	69	12	255	Пружины плоские и круглые; пружинные кольца и шайбы; рессоры; эксцентрики, скобы.
	65	71	10	255	
	70	73	9	269	Детали, работающие в условиях трения: шайбы Гровера, пружины клапанов двигателя автомобиля, пружины буксирных приборов и плунжеров толкателя.
	75	110	7	285	
60 Г	71	11	269		
Доэвтектоидная.	У 7	73	9	HRC 59-62	Инструментальная сталь для инструмента, подвергающегося ударам и требующего вязкости при умеренной твердости (HRC=56-58): кернер, зубила, отвертки, кузнечный инструмент, клейма, пробойники, штамповые детали, молотки слесарные, кувалды, косы сельскохозяйственные.

*Продолжение*

1	2	3	4	5	6
Эвтектоидная	У8, У8А	110	6	HRC 60-63	Для инструментов, подвергающимся ударам и требующих хорошей вязкости при высокой твердости ( HRC до 60-62 ): матрицы, пуансоны, ножницы и ножи по металлу, столярный инструмент, пресс-формы; зубила пневматические, пилы круглые, сверла спиральные, фрезы, долото, стамески.
Заэвтектоидная.	У9, У10, У11.			HRC 61-63	Для инструментов, не подвергающихся сильным ударам при максимальной твердости режущей грани : сверла, метчики, развертки, стамески, резцы, фрезы, монетные штемпели, бурильный инструмент, медицинский инструмент, столярные пилы, вырубные штампы простой конфигурации.
Заэвтектоидная.	У 12, У 13.			HRC 61-64	Для инструментов с максимальной износостойкостью при наивысшей твердости: плашки, фрезы, резцы, напильники, зубила для насечки напильников, граверный инструмент, мерительный инструмент, сверла.

Примечание: твердость HRC приводится после закалки и низкого отпуска.

Остальные свойства приведены для стали в состоянии поставки, без дополнительной термической обработки.

## МИКРОИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

№ шлифа	Марка стали	Химический состав (%)	Термообработка, состояние	Описание микроструктуры
1	2	3	4	5
1	30ХГСА	С 0,28-0,35 Mn 0,8-1,1 Si 0,9-1,2 Cr 0,8-1,1	Отжиг 880°С	Мелкозернистая смесь темного сорбитообразного перлита и светлого феррита.
2	18Х2Н4ВА (18ХНВА)	С 0,14-0,2 Cr 1,35-1,65 Ni 4,0-4,4 W 0,8-1,2	Закалка 960°С, воздух Отпуск 640°С	Игольчатый сорбит отпуска, сохранивший за счет легирования ориентацию мартенсита.
3	ШХ15	С 0,95-1,05 Cr 1,3-1,65	Отжиг 800°С, охлаждение 15-20°/час до 600°С, далее воздух	Темный зернистый перлит и светлые блестящие частицы карбидов хрома и легированного цементита, распределенные частично по границам зерен и внутри.
4	38Х2МЮА (38ХМЮА)	С 0,35-0,42 Cr 1,35-1,65 Mo 0,15-0,25 Al 0,7-1,1	Закалка 950°С, воздух Отпуск 650°С	Игольчатый сорбит отпуска, сохранивший за счет легирования ориентацию мартенсита.
5	P18	С 0,7-0,8 Cr 3,8-4,4 W 17,0-18,5 V 1,0-1,4 Mo ≤ 1,0 Si ≤ 0,5 Mn ≤ 0,4	Литье	Темные зерна перлита дендритного строения, участки пестрой мелкозернистой ледебуритной эвтектики между ними и светлые округлые карбиды.
6	P18	- // -	После горячейковки и отжига	Сорбит и множество равномерно распределенных в нем светлых, крупных первичных и мелких вторичных карбидов.

Продолжение

1	2	3	4	5
7	P18	- // -	Закалка 1280°С, масло	Светлые зерна остаточного аустенита, высоколегированный безигольчатый мартенсит и мелкие, округлые, светлые, первичные карбиды.
8	P18	- // -	Закалка 1280°С, масло Трехкратный отпуск при 560°С	Темный мартенсит отпуска и крупные, светлые первичные карбиды.
9	X12M	C 1,45-1,65 Cr 11,0-12,5 Mo 0,4-0,6 V 0,15-0,3 Mn 0,15-0,4 Si 0,15-0,35	После горячейковки и отжига	Мелкозеренный (сорбитообразный) перлит и светлые частицы карбидов, измельченных при горячей деформации, с образованием строчечности.
10	ЭИ 69 (45X14H14B2M)		Закалка 1000°С, вода	Светлые зерна аустенита и мелкие, округлые, светлые карбиды хрома и вольфрама.
11	ЭИ 437Б (ХН77ТЮР)	Cr 19,0-22,0 Ti 2,4-2,8 Al 0,6-1,0 Fe ≤ 4,0 C ≤ 0,07 B ≤ 0,01 Ni основа	Закалка 1080°С, воздух Старение 700°С, 16 часов	Светлые, очень крупные зерна $\gamma$ -твердого раствора на основе никеля и темные, отдельные, нерастворившиеся, мелкие частицы интерметаллидов $Ni_3(Al,Ti)$ $Cr_5V_3TiN$ + мелкие, светлые, округлые карбиды $TiC$ ; $Cr_{23}C_6$ .

## КЛАССИФИКАЦИЯ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

№ образца	Марка стали	Классификация стали:			Свойства
		по назначению	по структуре после отжига	по структуре после нормализации	
1	2	3	4	5	6
1	30ХГСА	Конструкционная, улучшаемая	Доэвтектоидная (П+Ф)	Перлитный класс	После улучшения $\sigma_B = 110 \frac{\text{кГс}}{\text{мм}^2}$ , $\sigma_{0,2} = 85 \frac{\text{кГс}}{\text{мм}^2}$ , $\delta = 10\%$ , $\psi = 45\%$ , $a_H = 5,0 \frac{\text{кГс} \cdot \text{м}}{\text{см}^2}$ , хорошая свариваемость
2	18Х2Н4ВА	Конструкционная, цементируемая	Доэвтектоидная (П+Ф)	Мартенситный класс	После закалки и низкого отпуска $\sigma_B = 110-140 \frac{\text{кГс}}{\text{мм}^2}$ , $\delta = 14\%$ , $a_H = 11-14 \frac{\text{кГс} \cdot \text{м}}{\text{см}^2}$
3	ШХ15	Конструкционная, шарикоподшипниковая	Заэвтектоидная (П+карбиды)	Перлитный класс	Высокая износостойкость при больших контактных давлениях. После закалки и низкого отпуска: HRC=61-66
4	38ХМЮА (38Х2МЮА)	Конструкционная, азотируемая	Доэвтектоидная (П+Ф)	Перлитный класс	После улучшения в сердцевине $\sigma_B = 95 \frac{\text{кГс}}{\text{мм}^2}$ , $\delta = 14\%$ , $\psi = 50\%$ , $a_H = 10 \frac{\text{кГс} \cdot \text{м}}{\text{см}^2}$ . Поверхность после азотирования: HRC $\approx$ 72 (HB=780-1050)



Продолжение

1	2	3	4	5	6
5-8	P18	Инструментальная, быстрорежущая	Ледебуритная (П+Л+карбиды)	На практике классификация по структуре после нормализации не характерна для ледебуритных сталей.	После закалки и многократного отпуска при $560^{\circ}\text{C}$ : HRC=61-64, $\sigma_{изг} = 260-300 \frac{\text{кГс}}{\text{мм}^2}$ , красностойкость до $630^{\circ}\text{C}$
9	X12M	Инструментальная, штамповая	Ледебуритная (П+Л+карбиды)	Структурный класс ледебуритной стали устанавливается по структуре после отжига. Поэтому P18 и X12M являются сталями карбидного класса.	После закалки и многократного отпуска при $500-580^{\circ}\text{C}$ : HRC=60-62, $a_H = 5-8 \frac{\text{кГс} \cdot \text{м}}{\text{см}^2}$ , $\sigma_{изг} = 280-320 \frac{\text{кГс}}{\text{мм}^2}$
10	ЭИ69 (45X14H14B2M)	Жаропрочная, дисперсионно-твердеющая, с карбидным упрочнением спец. сталь, которая может использоваться как конструкционная.	Данные стали классифицируются по равновесной структуре не по диаграмме Fe-Fe <sub>3</sub> C, а по видоизмененным, учитывающим сложное легирование, диаграммам.	Аустенитный класс	Предел длительной прочности $\sigma_{10000}^{650} = 130 \text{ МПа}$ Предел ползучести $\sigma_{1/100000}^{650} = 40 \text{ МПа}$
11	ЭИ437Б (ХН77ТЮР)	Деформируемый, жаропрочный спец. сплав на основе никеля (нимоник)			Предел длительной прочности $\sigma_{10000}^{750} = 110-200 \text{ МПа}$ Предел ползучести $\sigma_{1/100000}^{750} = 200 \text{ МПа}$

## ПРИМЕНЕНИЕ ИССЛЕДУЕМЫХ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

30ХГСА	Лопатки компрессорных машин, сварные самолетные конструкции. Крепежные детали, рычаги, толкатели, корпуса, фланцы.
18Х2Н4ВА	Цементуемые крупные, особо ответственные и тяжело-нагруженные детали, работающие при больших скоростях и вибрационных нагрузках: коленчатые валы, шестерни, шатуны, муфты.
ШХ15	Кольца, ролики, диаметром до 20 мм, шарики всех размеров.
38Х2МЮА (38ХМЮА)	Азотируемые ответственные детали: шестерни, коленчатые валы, гильзы цилиндров и др., работающие на истирание и испытывающие ударные нагрузки.
Р18	Изготовление всех видов режущего инструмента. Шлифуемость удовлетворительная.
Х12М	Штампы для холодного деформирования с высокой устойчивостью против истирания, волоки, волочильные доски, профилировочные ролики сложных форм.
45Х14Н14В2М (ЭИ69)	Лопатки и диски газовых турбин, выпускные клапаны, трубопроводы, детали камер сгорания, крепежные детали ( $T_{раб}$ до 600-650°C).
ХН77ТЮР (ЭИ4376)	Производство дисков и рабочих лопаток газовых турбин ( $T_{раб}$ до 800-850°C).