

А. Н. Чухлеб

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ЗАКАЛКИ СЕРОГО ЧУГУНА

ВВЕДЕНИЕ

В современном машиностроении удельный вес чугунных отливок составляет около половины веса изготавливаемых машин. Развитие техники расширило сферу применения чугуна, так как качество его значительно улучшилось. Чтобы снизить вес машин при улучшении их качества необходимо изыскать методы обработки, повышающие механические свойства металла.

Одним из таких методов в применении к серому чугуну является изотермическая закалка.

До последнего времени изотермическую закалку широко применяли для стальных деталей. Между тем чугун, как объект изотермической закалки, заслуживает безусловного внимания.

Изотермическая закалка устраняет структурные и термические напряжения, а также повышает механические свойства, что расширяет возможность применения чугуна как конструкционного материала.

В то же время изотермический распад переохлажденного аустенита серого чугуна недостаточно изучен. Еще менее изучен вопрос о превращениях в среднем районе температур.

Отставание в разработке отдельных теоретических вопросов и рациональных термических режимов изотермической закалки объясняется невозможностью выбрать однозначные режимы в функции химсостава, как это имеет место в стали.

Исследования изотермического превращения переохлажденного аустенита серого чугуна проводились заводскими лабораториями [1, 2] и научными учреждениями [3, 4]. Однако указанные работы не дают основания для выбора режимов обработки деталей поршневой группы паровозов, так как исследовался чугун другого химического состава.

Нами были исследованы изотермические превращения в чугуне перлитового класса, применяемом для изготовления деталей золотниковой группы паровозов. Применительно к данным деталям в настоящее время проводится обычная закалка с последующим высоким отпуском по режимам, разработанным ЦНИМ МПС [6, 5]. Закалка с последующим высоким отпуском хотя увеличивает прочность и износостойкость металлической основы, но, наряду с этим, ведет к значительному браку по заколочным трещинам.

Изотермическая закалка должна рассматриваться, как прогрессивный метод, обеспечивающий значительное повышение прочностных характеристик при одновременном резком снижении внутренних напряжений, неизбежно возникающих в детали в процессе закалки.

Характеристика экспериментируемого чугуна

Исследуемый чугун был получен в обычных производственных условиях. Шихтовка чугуна была выполнена так, что часть кремния вводилась в виде ферросилиция в ковш.

Химический состав чугуна в процентах:

углерод общий	— 3,07,
кремний	— 1,82,
марганец	— 0,45,
фосфор	— 0,19,
сера	— 0,093.

Микроструктура исследуемого чугуна — среднепластинчатый перлит, без наличия избыточных фаз, среднепластинчатый графит. Фосфидная эвтектика в нормальном количестве. Располагается фосфидная эвтектика равномерно по полю шлифа. Такая структура может быть признана типичной для серого перлитного чугуна в отливках золотниковых втулок и по ГОСТ 3443 может быть обозначена П—6П—Г11—Г4—4Ф1—ФП1.

Твёрдость чугуна 182 НВ.

Выбор температуры нагрева под закалку

Промышленный чугун является сложным сплавом, состоящим, по крайней мере, из пяти элементов. Влияние отдельных элементов в количественном отношении на температуру критических точек отлично от

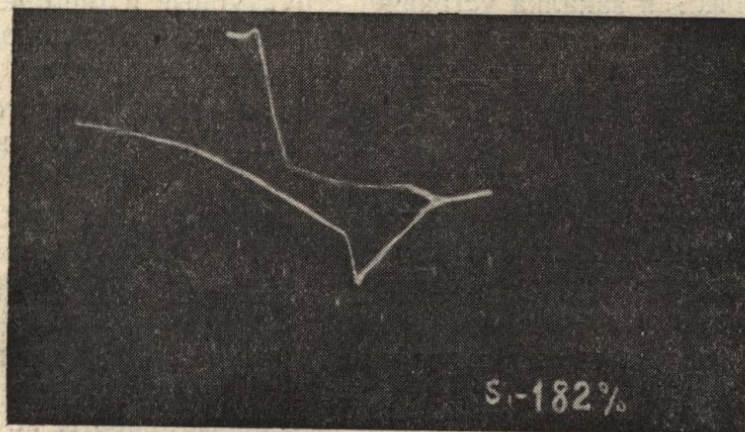


Рис. 1.

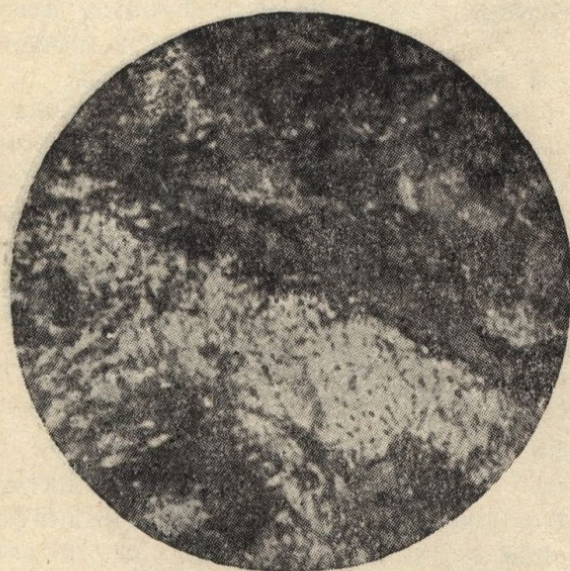
действия этих элементов в чистых железоуглеродистых сплавах. Ряд экспериментальных формул, дающих возможность определить температуру эвтектоидного превращения чугуна, упрощает характер влияния элементов в чугуне, определяя их влияние, как равное сумме действий отдельных элементов.

Температуру эвтектоидного превращения устанавливали dilatометрическим методом. Одна из серии dilatометрических кривых представлена на рис. 1.

Согласно проведенному исследованию температура эвтектоидного превращения 773° .

Температура нагрева под закалку для серого чугуна перлитного класса в литературных источниках дается $825—1100^{\circ}$ [1, 7].

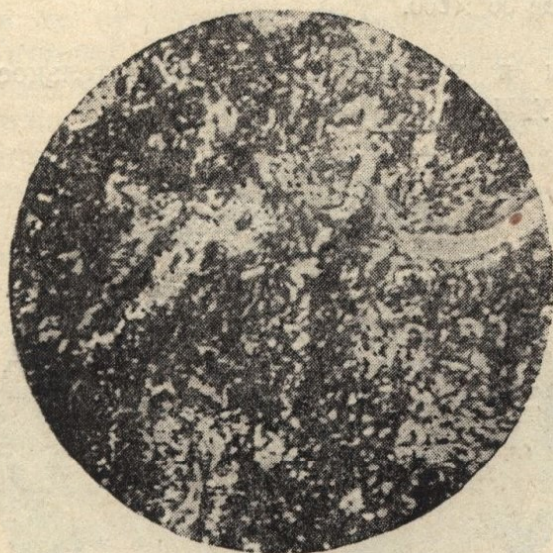
Исследование влияния температуры закалки на структуру и свойства чугуна дает основание сделать следующее заключение. При закалке от 800° в структуре просматривается большое количество феррита. С повышением температуры нагрева под закалку количество феррита уменьшается.



I. Температура закалки — 800° ;



II. Температура закалки — 825° ;



III. Температура закалки — 850° ;



IV. Температура закалки — 875° ;

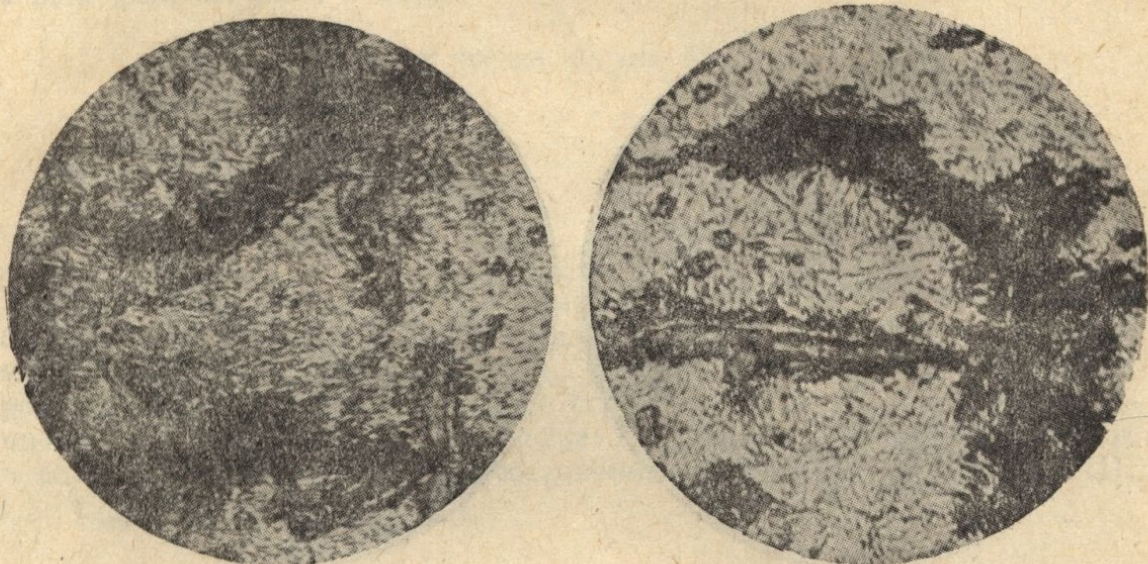
Рис. 2. Шлифы травленного серого чугуна при разных температурах закалки.
Закалка в воде $36^{\circ} \times 600$.

С повышением температуры свыше 900° наблюдается укрупнение игл мартенсита. Максимальная твердость чугуна получена при закалке от 875° . Дальнейшее повышение температуры закалки приводило к понижению твердости.

Изменение структуры закаленного серого чугуна в зависимости от температуры закалки представлено на рис. 2.

Строение графита при низких температурах закалки изменяется крайне мало, однако с повышением температуры нагрева наблюдается уменьшение толщины пластинки графита и некоторого его измельчения.

С повышением температуры нагрева наблюдается также увеличение количества мест выкрошенной металлической массы в местах соприкосновения с графитом. Эти выкрошения, образовавшиеся в процессе шлифовки и полировки микрошлифа, свидетельствуют о нарушении прочно-



V. Температура закалки — 900° ;

VI. Температура закалки — 950° .

Рис. 2. Шлифы травленного серого чугуна при разных температурах закалки. Закалка в воде $36^{\circ} \times 600$.

сти металлической части структуры и указывают на отрицательное влияние нагрева до высокой температуры на прочность чугуна.



I. Температура закалки — 850° .

II. Температура закалки — 875° .

Рис. 3. Нетравленные шлифы закаленного серого чугуна. Закалка в воде $36^{\circ} \times 100$.

На рис. 3 представлены микрофотографии нетравленного серого чугуна. Исследование влияния температуры аустенизации на структуру и свойства чугуна при изотермической обработке устанавливает, что повышение температуры нагрева под закалку при изотермическом превра-

щении не приводит к надрыву металлической массы в местах контакта с графитом.

Повышая температуры нагрева под закалку при изотермической обработке чугуна, можно создать условия некоторого насыщения аустенита углеродом за счет диффузии его из графита, можно создать более однородный аустенит и тем самым повысить устойчивость его в зоне критических температур.

Для изотермической закалки деталей золотниковой группы мы рекомендуем температуру нагрева 875—890°, вместо 825—850°, утвержденной инструкцией МПС для данных деталей при обычной закалке.

Исследование изотермического превращения переохлажденного аустенита серого чугуна

Исследование проводилось на установке, сконструированной по принципу магнитометра Московского института стали. Общий вид и монтажная схема прибора показаны на рис. 4.

На первичную катушку подается ток от сети через трансформатор. Катушка имеет 1620 витков провода толщиной 1 мм. Внутри катушки помещен латунный полый цилиндр, охлаждаемый водой. На латунный цилиндр навиты две вторичные катушки, каждая из которых имеет 3600 витков провода толщиной 0,13 мм. Катушки подключены навстречу. Вторая катушка является компенсационной и применена для увеличения чувствительности прибора. Пока образец находится в состоянии аустенита — компенсация максимальна, с наступлением превращения аустенита компенсация нарушается. Сила тока вторичных катушек непрерывно возрастает по мере увеличения количества образующейся ферромагнитной фазы.

В середину разрезного латунного цилиндра вставлена кварцевая трубка, в которую помещена вторая кварцевая трубка с нихромовой обмоткой, внутри которой находится ванна с изотермической средой.

В качестве изотермической среды применялась смесь азотнокислых солей натрия и калия.

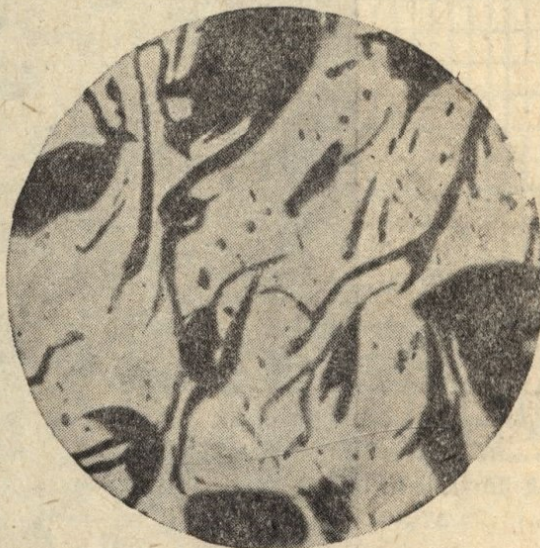
Температура аустенизации 880°, образец размером 5 × 1,5 × 50 мм.

При низких температурах превращения показания фиксировались через 30 сек. С повышением температуры превращения скорость распада увеличилась, показания фиксировались в начальный момент через 2—5 сек., затем через 10 сек.

По данным испытаний построены кинетические кривые, представленные на рис. 5.

Из анализа кривых видно, что устойчивость аустенита, то есть время до начала распада, изменяется в зависимости от температуры превращения и притом тем больше, чем ниже температура.

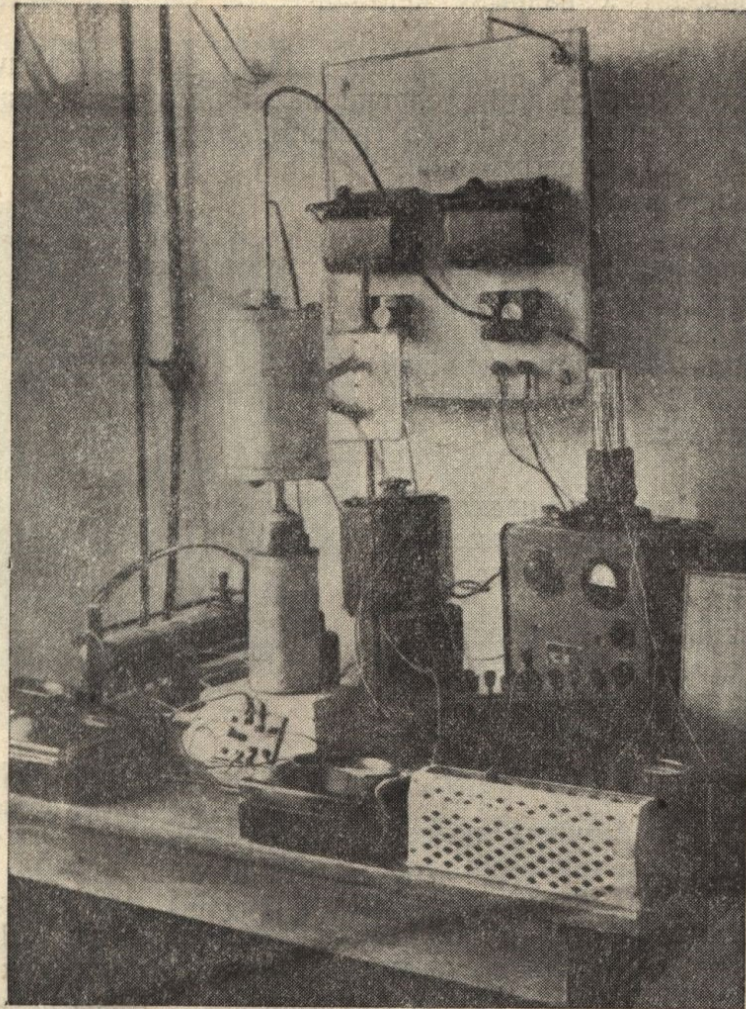
Время полного распада аустенита также изменяется в зависимости от температуры превращения, и притом тем больше, чем ниже температура. Каждой температуре превращения соответствует своя скорость превращения, что видно по характеру изотерм.



III. Температура закалки—950°.

Рис. 3. Нетравленный шлиф закаленного серого чугуна. Закалка в воде 36° × 100.

a)



МОНТАЖНАЯ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СХЕМЫ МАГНЕТОМЕТРА

б)

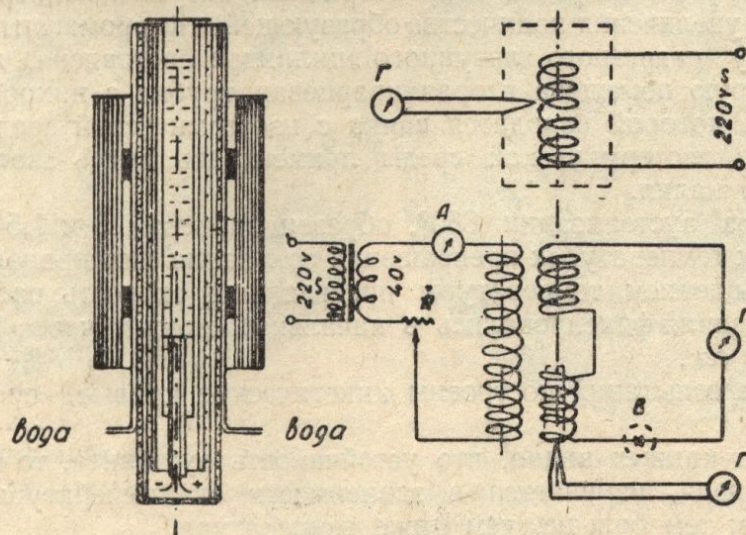


Рис. 4. Общий вид (а) и монтажная схема (б) прибора для исследования изотермического превращения.

При рассмотрении изотерм наблюдаются три стадии распада: первая стадия — инкубационный период, в течение которого не наблюдаются превращения аустенита; вторая стадия — превращение аустенита с нарастающей скоростью; третья стадия — затухающий процесс превращения.

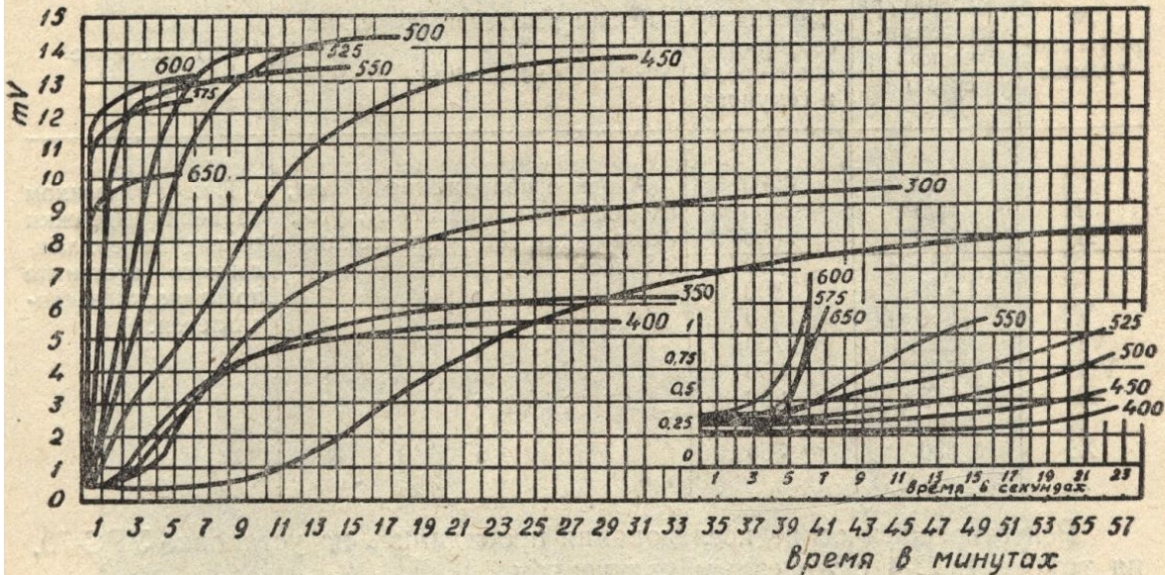


Рис. 5. Кинетические кривые распада переохлажденного аустенита серого чугуна.

Продолжительность отдельных стадий изменяется с температурой изотермической среды. Построенные кинетические кривые устанавливают время начала и конца распада переохлажденного аустенита и, тем самым, определяют данные для построения С-образной диаграммы.

С-образная диаграмма, построенная в полулогарифмической шкале в координатах: температура—время превращения, представлена на рис. 6.

Практическая ценность этой диаграммы заключается в том, что она дает возможность определить значение критической скорости закалки при непрерывном охлаждении, а также определить время выдержки в среде при изотермической закалке.

В среднем районе температур изотермы превращения аустенита показывают сначала длительную его устойчивость, а затем превращение некоторой части аустенита со скоростью значительно меньшей, чем в области более высоких температур. Распад аустенита в зоне средних температур не происходит полностью. Это побудило провести рентгенографические исследования с целью выявления количества остаточного аустенита после практически законченного изотермического превращения.

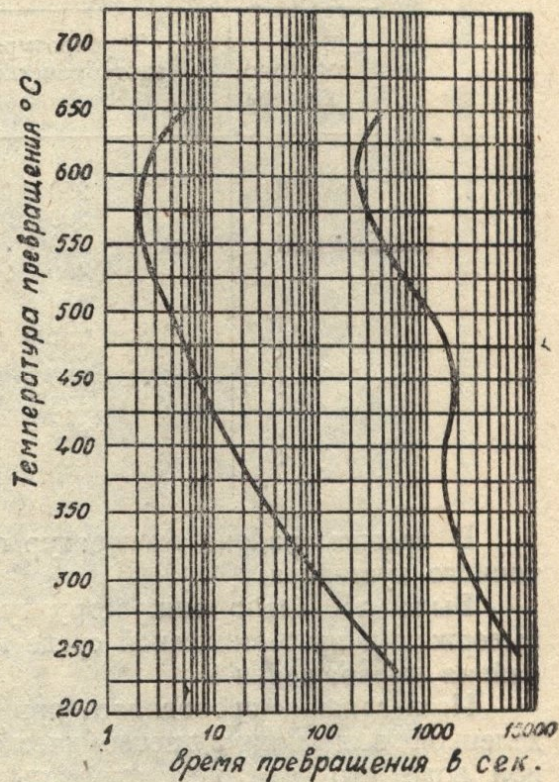


Рис. 6. С-образная диаграмма изотермического превращения аустенита серого чугуна.

В таблице 1 приведены режимы обработки образцов для рентгеноисследования.

Таблица 1

№ рентгенограммы	Температура изотермической среды	Время выдержки в изотермической среде в секундах	Режим рентгенографических испытаний	Примечание
I	250	3600	Анодное напряжение 30 квт, анодная сила тока 14 МА, угол скольжения 35°, экспозиция 3,5 часа	При указанном времени выдержки распад переохлажденного аустенита практически заканчивается.
II	300	2700		
III	350	1620		
IV	400	1500		
V	450	1800		
VI	550	1020		
VII	525	700		
VIII	550	360		
IX	575	280		
X	600	300		
XI	650	360		

Рентгенографические исследования проводились на установке УРС-70, на трубке БСВ-4 с железным излучением.

На рис. 7 представлены рентгенограммы исследуемых образцов.

Количество остаточного аустенита определялось невооруженным глазом путем сравнения линий равного почернения.

В таблице 2 приведены результаты обработки рентгенограмм.

Таблица 2

№ рентгенограммы	Температура изотермического распада	Количество остаточного аустенита в %
I	250	16
II	300	21
III	350	26
IV	400	26
V	450	8
VI	500	8
VII	525	—
VIII	550	—
IX	575	—
X	600	—
XI	650	—

В среднем районе температур фиксируется большое количество остаточного аустенита.

Было проведено микроструктурное исследование влияния времени выдержки в изотермической среде и температуры на структуру среднего района превращения.

Исследование проводилось при температуре ванны 300°. После определенной выдержки в изотермической ванне, шлиф закаливали в холодной воде, что давало возможность судить о фазах, полученных в чугуне к моменту окончания выдержки в ванне.

На рис. 8 даны микрофотографии структур после различной выдержки в изотермической среде.

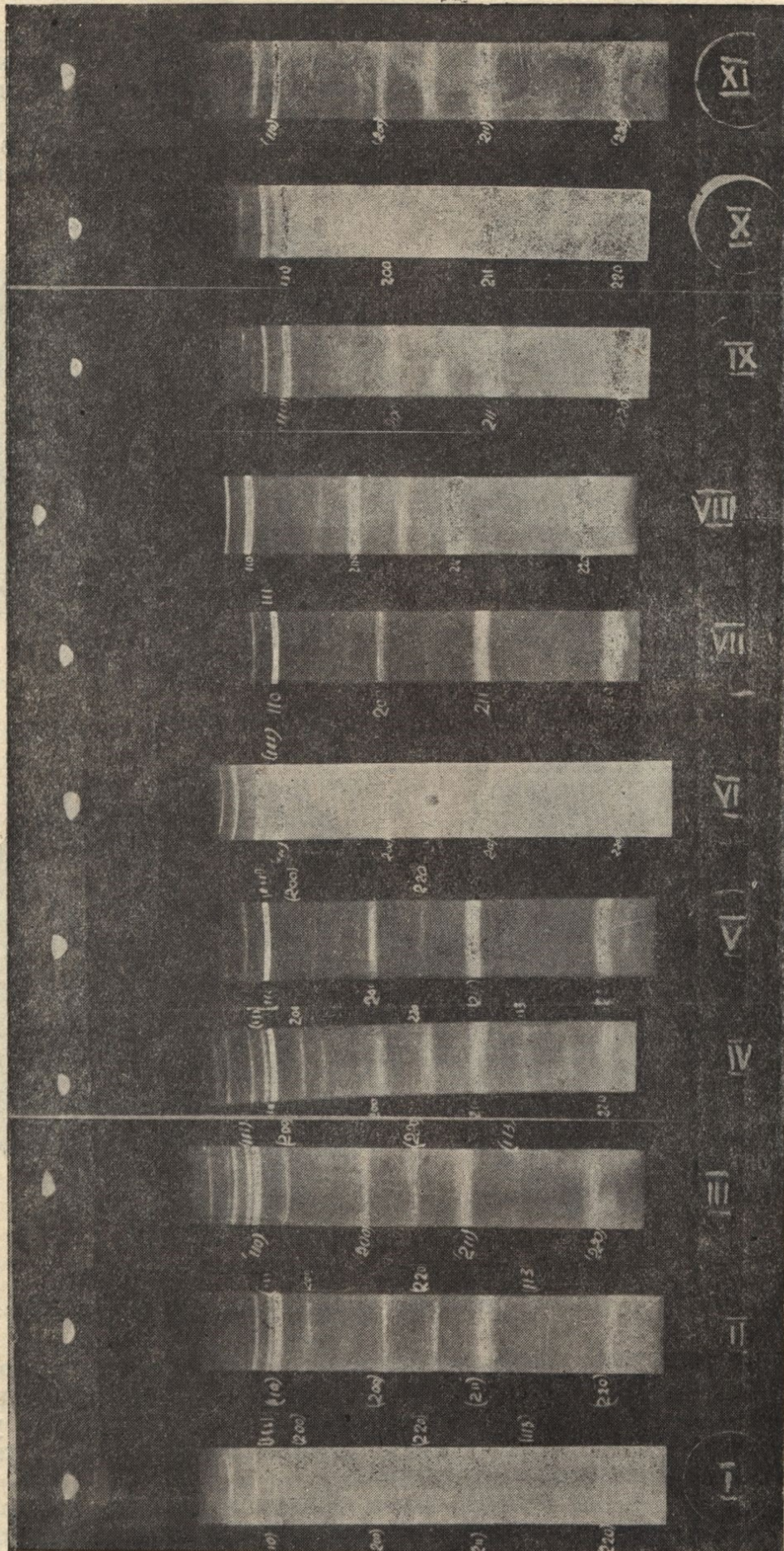


Рис. 7. Рентгенограммы чугунных образцов после различных режимов изотермической обработки.

Выдержка 90 сек. при температуре 300° недостаточна для начала превращения. После фиксации в воде шлиф даст полную мартенситную структуру. Наличие в чугунах посторонних фаз графита и фосфидной эвтектики изменяет состав прилегающих к ним участков аустенита. Первые продукты быстротравящейся игольчатой структуры возникают в участках, граничащих с графитом (8б). При повышении выдержки в ванне



Рис. 8а — выдержка 90 сек.

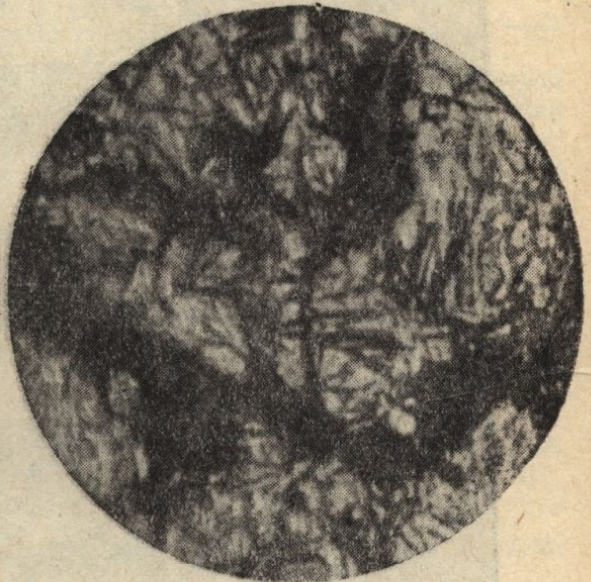


Рис. 8б — выдержка 240 сек.

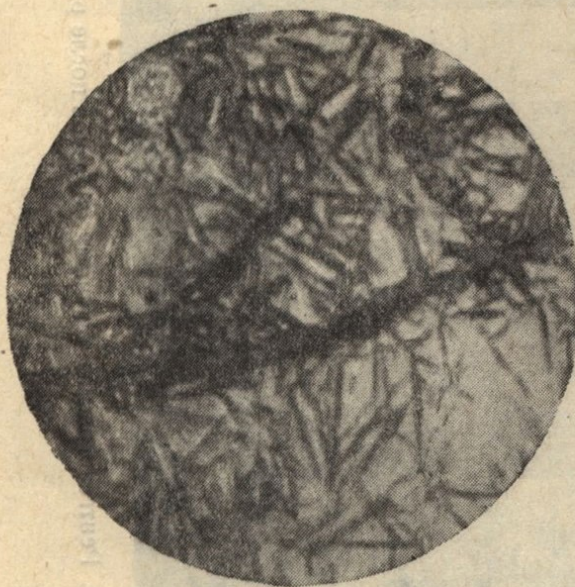


Рис. 8в — выдержка 600 сек.



Рис. 8г — выдержка 900 сек.

Рис. 8. Микроструктуры после различной выдержки в изотермической среде. 300×600.

наблюдается увеличение количества игольчатого троостита за счет новых образований (рис. 8г). Наличие в чугунах графита и фосфидной эвтектики приводит к неоднородному развитию превращения в различных его участках. Первые образования игольчатого троостита возникают в участках, непосредственно прилегающих к графиту.

Температура изотермической среды оказывает влияние на форму игольчатой структуры. Вблизи мартенситной точки наблюдается резко

выраженное игольчатое строение (рис. 9а). С повышением температуры превращения в среднем районе иглы приобретают ланцетовидное очертание (рис. 9б), с дальнейшим повышением температуры в среднем районе структура приобретает перистое строение (рис. 9в).

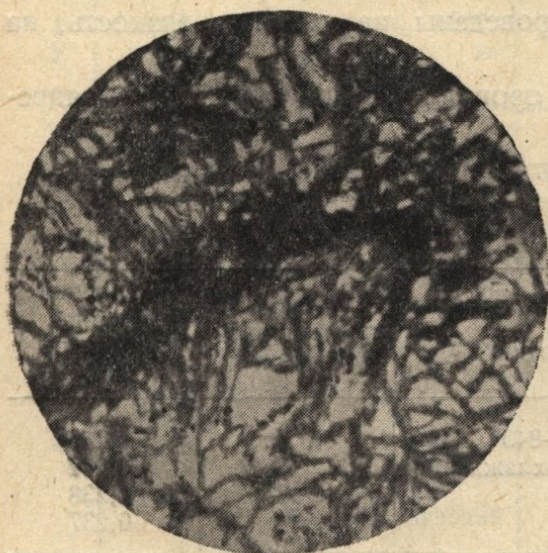


Рис. 9а. t 275°; выдерж. 2520", \times 2000.



Рис. 9б. t 300°; выдерж. 1800", \times 2000.

Изменение формы игольчатой структуры в зависимости от температуры изотермической среды представлено на рис. 9.

По типу структуры «верхний» игольчатый троостит отличается от «нижнего». Соответственно меняется твердость.

Механические испытания

С целью оценки методов термообработки, применяемых для чугунных деталей золотниковой группы паровозов, была проведена сравнительная оценка механических свойств чугуна, обработанного при разных термических режимах.

Сравнивались следующие термические методы:

1. нормализация,
2. закалка + высокий отпуск,
3. изотермическая закалка.

Нормализация и закалка с последующим высоким отпуском проводилась по режимам, разработанным ЦНИИ МПС (6) и применяемым в настоящее время. Изотермическая закалка проводилась по режимам, предложенным автором на основании данной работы. Предложенный режим изотермической закалки определен из условия получения лимитированной инструкции МПС твердости при обычной закалке с последующим отпуском.

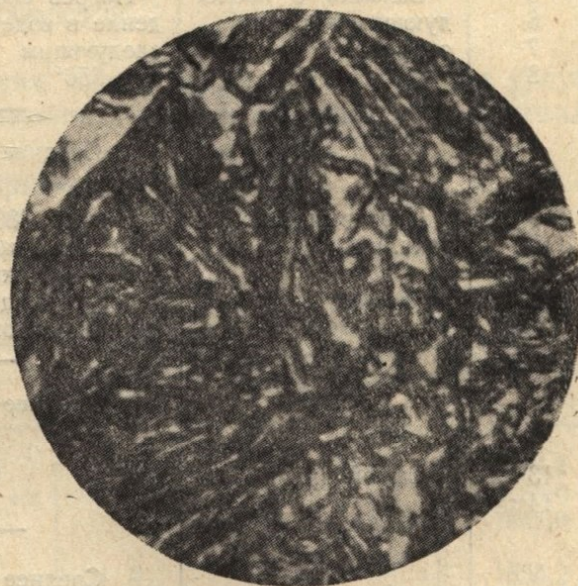


Рис. 9в. t 350°; выдерж. 1140", \times 2000.

Рис. 9. Зависимость формы игольчатой структуры от температуры превращения.

Режим изотермической закалки:

Температура нагрева под закалку 875°—890°.

Температура изотермической ванны 300°.

Выдержка в изотермической среде 30 минут с последующим охлаждением на воздухе.

Механические испытания были проведены на ударную вязкость, на статический изгиб и на износ.

Испытания на ударную вязкость проводились на образцах с надрезом размером 10 × 10 × 55.

Сводные данные результатов испытаний приведены в табл. 3.

Таблица 3

№ образца	Характер обработки	Режим термической обработки	Твердость после термообработки	Значение ударной вязкости в кгм/см ²
1	Нормализация	Нагрев $t=840^\circ$ с последующим охлаждением на воздухе	12 Rc	0,256
2			12 Rc	0,242
3			12 Rc	0,238
4			12 Rc	0,237
Среднее значение			12 Rc	0,243
5	Закалка с последующим высоким отпуском	Нагрев 850°, охлаждение в воде 40° с последующим отпуском при 550°	30 Rc	0,146
6			29 Rc	0,146
7			28 Rc	0,183
8			28 Rc	0,183
Среднее значение			29 Rc	0,164
9	Изотермическая закалка	Нагрев 880°, изотермическая ванна 295—305° выдержка 30 минут с последующим охлаждением на воздухе	32 Rc	0,243
10			31 Rc	0,251
11			32 Rc	0,287
12			32 Rc	0,304
Среднее значение			32 Rc	0,271
13	Сырой чугун		89 R _B	0,192
14			89 R _B	0,152
Среднее значение			—	0,172

Испытание на статический изгиб проводилось по принципу малых проб на специальном прессе. При испытаниях была целиком использована методика, разработанная Украинским институтом металлов. Образец был принят призматической формы с размерами 10 × 8 × 35 мм. Разрушающее усилие и стрела прогиба определялись с помощью диаграммной записи.

Сводные данные результатов испытаний приведены в таблице 4 (стр. 165).

Испытание на износ проводилось на машине Савина.

Режим испытаний определился исходя из условий получения сравнительной оценки износа в зависимости от вида термообработки.

Таблица 4

№ образца	Характер обработки	Режим термической обработки образцов	Твердость после термообработки	Разрушающее усилие в кг	$\sigma_{из}$ кг/мм ²	Стрела прогиба в мм
1 2	Нормализация	Нагрев 850°, охлаждение на воздухе	16 Rc	700,4	49,02	0,220
			14 Rc	700,4	49,02	0,185
Среднее значение			15 Rc	700,4	49,02	0,202
3 4	Закалка + + отпуск	Закалка от $t=850^\circ$ в воду 37° отпуск 550°	31,5 Rc	527	36,89	0,130
			32,5 Rc	595	41,6	0,135
Среднее значение			32 Rc	561	39,37	0,132
5 6	Изотермич. закалка		32 Rc	748	52,36	0,200
			32 Rc	666,4	46,64	0,210
Среднее значение			32 Rc	707,2	49,5	0,205

Режим испытания был принят следующий.

Давление 5 кг.

Число оборотов кружка — 800 об/мин.

Общий цикл испытаний 2000 оборотов.

Испытание без смазки.

Износ при нормальных условиях опыта выражается объемом углубления в тысячных долях мм³, образовавшегося в испытываемом металле вращающимся кружком.

Данные испытаний на износ приведены в таблице 5.

Таблица 5

№ образца	№ испытания	Характеристика обработки	Режим термической обработки образцов	Твердость после термообработки	Показания счетчика микроскопа	Характеристика микроскопа	Объем углубления в 1/1000 мм ³
I	1	Нормализация	Нагрев 840°, охлаждение на воздухе	95 R _B	855	6	1894,3
	2			883	6	2086,0	
	3			884	6	1847,9	
II	4	Нормализация	»	94 R _B	844	6	1823,2
	5			792	6	1506,6	
	6			820	6	1712	
III	7	Нормализация	»	95 R _B	731	6	1184,2
	8			772	6	1388,8	
	9			826	6	1712,5	
IV	10	Нормализация	»	94 R _B	798	6	1541,9
	11			794	6	1518,4	
	12			795	6	1524,3	
Среднее значение в итоге 12 испытаний				—	—	—	1645

Продолжение

№ образца	№ испытаний	Характеристика обработки	Режим термической обработки образцов	Твердость после термообработки	Показания счетчика микроскопа	Характеристика микроскопа	Объем углубления в 1/1000 мм ³
V	13	Закалка + + отпуск	Закалка 850° в воду 35°; отпуск 525°	32 Rc	457	6	287,2
	14				456	6	285,3
	15				476	6	324,6
VI	16	»	»	29 Rc	710	2,75	103,7
	17				711	2,75	104,1
	18				413	6	211,8
VII	19	»	»	29 Rc	755	2,75	124,5
	20				710	2,75	103,7
	21				774	2,75	134,3
VIII	22	»	»	30 Rc	767	2,75	130,5
	23				803	2,75	149,9
	24				422	6	226,4
IX	25	»	»	31 Rc	430	6	239,5
	26				434	6	246,2
	27				772	2,75	133,1
X	28	»	»	30 Rc	410	6	207,0
	29				419	6	221,7
	30				733	2,75	113,9
XI	31	»	Закалка 850° в воду 34°; отпуск 525°	29 Rc	458	6	289,1
	32				470	6	312,6
	33				400	6	192,5
XII	34	»		32 Rc	480	6	332,5
	35				427	6	285,1
Среднее значение в итоге 23 испытаний				—	—	—	205
XIII	36	Изотерми- ческая за- калка	Изотермическая закалка от 880° в ванну 305° вы- держка 30 минут, охлаждение на воздухе	31 Rc	720	2,75	108,0
	37				704	2,75	101,8
	38				718	2,75	107,2
XIV	39	»	»	29 Rc	730	2,75	112,6
	40				741	2,75	117,7
	41				411	6	208,8
XV	42	»	»	28 Rc	735	2,75	114,8
	43				701	2,75	99,6
	44				680	2,75	91,0
	45				841	2,75	172,1
XVI	46	»	Изотермическая ванна 880°, ванна 300°, выдержка 30 минут, охлаж- дение на воздухе	28 Rc	700	2,75	99,2
	47				754	2,75	124,0
	48				762	2,75	128,0

№ образца	№ испытания	Характеристика обработки	Режим термической обработки образцов	Окончание				
				Твердость после термообработки	Показания счетчика микроскопа	Характеристика микроскопа	Объем углубления в 1/1000 мм ³	
XVII	49		»	29 Rc	735	2,75	114,8	
	50				756	2,75	126,0	
	51				695	2,75	97,10	
XVIII	52		Изотермическая закалка 880°, ванна 295°, выдержка 30 минут, охлаждение на воздухе	29 Rc	723	2,75	109,4	
	53				698	2,75	98,4	
	54				716	2,75	106,2	
XIX	55		»	29 Rc	706	2,75	101,9	
	56				711	2,75	104,1	
	57				721	2,75	108,5	
Среднее значение в итоге 22 испытаний				—	—	—	116	
XX	58	Сырой чугун	—	182H _B	877	6	2043,2	
	59				»	891	6	2145,2
	60				»	930	6	2426,0
XXI	61				»	6	2498,0	
	62				»	925	6	2390,0
	63				»	890	6	2138,0
XXII	64				»	6	2202,8	
	65				»	825	6	1706,1
	66				»	920	6	2354,0
Среднее значение из 9 испытаний				—	—	—	2211	

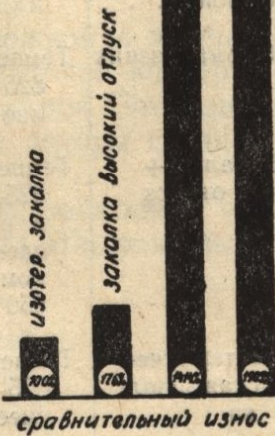


Рис. 10.

Если износ изотермически обработанного чугуна принять за 100%, то чугун, обработанный закалка + отпуск на одинаковую твердость, даст 176%. Чугун, нормализованный при твердости в среднем в два раза меньшей — 1414%, и сырой чугун — 1905%. Наглядно результаты испытаний на износ представлены на рис. 10.

Повышение износоустойчивости после изотермической обработки в сравнении с обычной закалкой объясняется, вероятно, распадом остаточного аустенита на поверхности трения.

ВЫВОДЫ

1. При изотермическом превращении переохлажденного аустенита серого чугуна наблюдается три зоны: перлитная, мартенситная и промежуточная. В промежуточном районе температур в интервале (250—425°) фиксируется быстротравящаяся структура игольчатого типа. Количество этой структуры зависит от температуры превращения и времени выдержки. Дисперсность и твердость этой структуры зависят от температуры переохлаждения.

2. В интервале температур 250—425° фиксируется большое количество остаточного аустенита. Количество остаточного аустенита зависит от температуры переохлаждения.

3. Установлен режим изотермической закалки, обеспечивающий значительное повышение свойств серого чугуна в сравнении с ныне применяемыми методами термообработки.

Сравнительные данные приведены ниже, причем значение механических свойств для всех видов испытаний при изотермической обработке принято за 100%.

Характер обработки	Режим термообработки	Кем предложен режим	Твердость НВ	Данные механических испытаний в процентном отношении			
				Динамические испытания на изгиб	Испытание на статический изгиб на машине Фремона		Износ по Савину
					Прочность на изгиб	Стрела прогиба в мм	
Сырой			182	63,4	80	85	1905
Нормализация	Температура нагрева 825—850°, охлаждение на воздух . .	ЦНИИ МПС	220—230	89,6	99	98,5	1414
Закалка + + отпуск	Температура нагрева 825—850°, закалка в воде 38°, с последующим отпуском температуры 550°	ЦНИИ МПС	280—310	60,5	79,5	64	176
Изотермическая закалка	Температура нагрева 875—890°; ванна смесь солей с температурой 300°; время 30° с последующим охлаждением на воздухе . .	автором	280—310	100	100	100	100

4. Значительное изменение свойств серого чугуна после изотермической закалки объективно указывает на возможность расширения области применения чугуна. Минимальные напряжения при данной обработке позволяют подвергать изотермической закалке детали сложной конфигурации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ипатов П. К. Влияние химических элементов на изотермический распад переохлажденного аустенита чугуна для поршневых колец. Журнал «Вестник машиностроения» № 9—10, 1945 г.
2. Куртов Н. Ф. Изотермическая обработка серого чугуна. Журнал «Автомобильная промышленность», № 4, 1946.
3. Кунявский М. Н. Изотермическая закалка серого чугуна. Сборник «Термическая обработка», 1948, ВНИТОМАШ.
4. Сенкевич В. Ф. Эвтектонное превращение в чугунах. Сборник «Фазовые превращения в железоуглеродистых сплавах», Машгиз, 1951.
5. Кислик В. А. Повышение износоустойчивости чугунных деталей паровоза. Трансжелдориздат, 1945.
6. Кислик В. А. и Ларин Т. В. Термическая обработка серого чугуна. Трансжелдориздат, 1945.
7. Гречин В. П. Поршневые кольца авиационных моторов. Труды ВИАМ, 1939.