

(рис. 4, теоретическая кривая построена без учета влияния повышения на поверхности материала, обволакивающего поры, $\operatorname{tg} \delta < 0,01$), а также анизотропию диэлектрической проницаемости диэлектриков, обусловленную анизометрией пор.

Всесоюзный институт огнеупоров
Ленинград

Поступила в редакцию
26 декабря 1972 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубицкий Л. Г. Радиотехнические методы контроля изделий, М., Машгиз, 1963.
2. Hochschild R. Mater. Evaluation, 1968, 26, 35.
3. Слоущ В. Г. Труды Всесоюзного института огнеупоров, вып. 41, Л., 1968, стр. 104.
4. Гартаковский Б. Д. ДАН СССР, 1950, вып. 3, 465.

УДК 620.179.14

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ КОНТРОЛЬ ГЛУБИНЫ И ТВЕРДОСТИ ЦЕМЕНТИРОВАННОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СТАЛИ 12ХНЗА

И. А. Кузнецов, В. М. Сомова, Н. М. Скрипова

Рассматривается применение различных электромагнитных методов для контроля глубины и твердости цементированного слоя поршневых пальцев и пальцев кривошипа. Даны практические рекомендации по определению качества химико-термической обработки деталей указанного типа.

МЕТОДИКА

Исследовали серийные детали мотоцикла из стали 12ХНЗА: палец поршня (плавки С, Т, Х) и палец кривошипа (плавки 1—3). Химический состав плавок приведен в табл. 1.

Химический состав исследованной стали, %

Таблица 1

Плавка	С	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
С	0,10	0,21	0,49	0,81	2,86	0,018	0,022
Т	0,11	0,25	0,47	0,78	2,79	0,017	0,022
Х	0,10	0,19	0,49	0,71	2,71	0,025	0,023
1	0,10	0,21	0,48	0,81	2,77	0,014	0,024
2	0,10	0,20	0,48	0,82	2,83	0,020	0,024
3	0,12	0,24	0,45	0,69	2,79	0,024	0,019

Все детали подвергались газовой цементации в производственных условиях в печи Ц-90 при 920°С (палец поршня) и 960° (палец кривошипа). В качестве карбюризатора использовали уайт-спирит с расходом 8—12 см³/мин. Различная глубина цементированных слоев (от 0,25 до 4,0 мм) была получена варьированием времени при цементации.

Цементированные детали подвергали термическим обработкам по технологии, принятой на Ирбитском мотоциклетном заводе. Первая закалка пальцев кривошипа для измельчения зерна малоуглеродистой сердцевины и устранения возможной карбидной сетки в поверхностном слое была проведена непосредственно после цементационного нагрева от 960° в масле. Вторая закалка от 820° предназначалась для получения высокой твердости поверхностного науглероженного слоя и придания вязких и пласти-

ческих свойств малоуглеродистой сердцеvine изделия. Нагрев под вторую закалку проводили в соляной ванне с выдержкой 30 минут.

Поршневые пальцы после цементации охлаждали до 400° в колоде с твердым карбуратором, затем на воздухе. Нагрев под закалку производили в соляной ванне до 800° и закаливали в масле. Время выдержки при нагреве 15 мин. После закалки детали подвергали гидропескочистке. Предварительную оценку глубины цементации в каждой партии деталей из восьми штук осуществляли после закалки на одной детали металлографическим методом. За глубину цементации принималось расстояние от поверхности вглубь до появления в структуре первых зерен феррита.

После изучения возможности неповреждающих определений глубины и твердости цементированного слоя с помощью приборов, основанных на измерении средней коэрцитивной силы и магнитной проницаемости участка изделия на заданной глубине от поверхности, детали отпускали в лабораторной электропечи при различных температурах. Время выдержки при отпуске по достижении заданной температуры составляло 1 ч (поршневой палец), 2 ч (палец кривошипа), последующее охлаждение на воздухе.

По существующим техническим условиям глубина цементированного слоя деталей должна быть 0,9—1,2 мм (поршневые пальцы), 1,6—2,0 мм (пальцы кривошипа), твердость поверхностного слоя 58—62 HRC.

Для неповреждающего контроля глубины и твердости цементированного слоя указанных деталей были применены: коэрцитиметр с приставным электромагнитом [1], электромагнитный индуктивный дефектоскоп ЭМИД-4М [2] и мост переменного тока [3]. На каждом из указанных приборов подбирались наиболее оптимальные условия контроля.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты сопоставления показаний приборов с глубиной и твердостью цементированного слоя деталей из стали марки 12ХНЗА приведены в табл. 2—3 и графически — на рис. 1—3.

Таблица 2

d, мм	Вторая закалка от 820 °С				Отпуск			
	I _p , ма	Δhy, мм (50 гц)	Δy, мм	HRC	I _{отп} , °С	I _p , ма	Δy, мм	HRC
1,4—1,6	57	38	30	62—63	—	—	—	—
1,9—2,0	58	55	40	60—61	—	—	—	—
1,9—2,0	61	52	42	61—62	—	—	—	—
2,1—2,2	63	50	39	59—61	—	—	—	—
2,4—2,5	65	56	45	61—62	—	—	—	—
2,7—2,8	67	61	42	61—62	—	—	—	—
1,1—1,6	57	43	36	62—63	160	52	25	60,0
1,2—1,6	55	38	28	58—60	160	52	31	58,0
1,4—1,5	57	33	29	61—62	160	52	25	58,5
1,5—1,6	56	36	28	61—62	160	52	20	58,0
1,6—1,6	60	45	36	61—62	160	55	27	60,0
1,7—1,8	60	51	38	61—62	160	55	30	60,0
1,8—1,9	60	51	38	61—63	160	54	27	59,0
1,5—2,2	63	50	37	61—62	160	57	26	60,0
1,8—2,0	62	49	28	62—63	160	55	31	60,0
2,0—2,3	64	52	40	61—62	160	58	27	58,5
2,4—2,4	63	59	42	60—61	160	58	35	60,0
1,5—1,7	59	40	32	60—61	180	53	22	60,0
1,7—1,7	58	37	30	61—62	180	52	22	59,0
2,0—2,2	62	56	42	61—62	180	56	28	59,0
1,8—2,9	67	59	44	61—62	180	58	30	59,0
4,3—4,5	79	83	52	62—63	180	66	36	59,0
1,8—1,8	58	46	37	61—62	200	51	21	57,5
1,9—2,0	60	44	36	62—63	200	53	22	58,0
1,7—2,4	61	50	39	62—63	200	54	22	58,0
2,0—2,2	67	61	45	61—62	200	55	26	58,0
2,3—2,7	66	62	47	62—63	200	57	25	58,0
3,1—4,5	78	86	53	61—62	200	60	30	58,0
2,9—4,3	80	82	52	60—61	250	44	—0,7	57,0

Примечание. Показания коэрцитиметра получены на участке детали, соответствующем первому значению глубины слоя.

Таблица 3

Поршневой палец (после закалки и отпуска)			Палец кривошипа (после второй закалки)			
I_p , ма	HRC слоя	d , мм	I_p , ма	HRC слоя	HRC сердцевины	d , мм
78	62—63	0,9	49	55—57	19—20	1,1
79	60—62	0,7	51	61—62	20—21	1,2
80	60—61	0,9	51	61—62	20—21	1,5
81	61—62	0,6	51	62—63	21—22	1,3
82	62—63	0,9	53	62—63	22—23	1,4
83	60—61	1,0	54	62—63	21—22	1,3
85	64—65	0,6	54	58—59	19—20	1,4
85	62—63	0,9	54	62—63	26—27	1,6
85	61—62	1,0	55	62—63	23—24	1,2
86	62—63	0,8	55	61—62	20—22	1,6
86	61—62	0,8	55	60—61	26—27	1,8
88	62—63	0,7	55	59—60	24—26	1,9
89	63—64	0,7	56	61—62	28—29	1,4
90	62—63	0,9	57	61—62	25—26	1,5
92	62—63	1,0	57	60—61	24—25	1,6
92	60—61	1,2	57	57—58	18—19	1,7
93	61—62	0,9	58	61—62	25—27	1,7
94	61—62	1,0	58	61—62	26—27	1,9
95	63—64	1,0	59	61—62	23—24	1,8
95	60—61	1,1	60	61—62	20—21	1,9
97	61—62	1,0	61	60—61	28—30	1,8
100	59—60	1,1	61	61—62	25—26	2,2
100	61—62	1,1	62	60—61	25—26	2,0
100	60—61	1,2	63	60—61	24—25	1,8
104	61—62	1,1	63	60—62	20—22	1,9
105	62—63	1,0	64	60—61	21—22	2,1
106	62—63	1,2	65	61—62	22—24	1,9
106	61—62	1,2	65	59—60	24—25	2,3
108	62—63	1,0	66	60—61	27—28	2,2
108	61—62	1,3	68	60—61	28—29	2,4
124	58—59	1,5	68	61—62	30—35	2,5
142	58—60	Сквозная	70	61—62	20—21	2,7

Исследования показали, что наилучшая чувствительность показаний коэрцитиметра к глубине и твердости поверхностного закаленного слоя получается при использовании приставных электромагнитов с сечением полюсов 4×10 мм, расстоянием между ними 15 мм для поршневых пальцев и сечением полюсов 5×15 мм, расстоянием между ними 25 мм для пальцев кривошипа. Такие размеры электромагнитов позволяют намагничивать до значительных индукций те слои от поверхности контролируемых изделий, на которые простирается максимально допустимый науглероженный слой нормально цементированных изделий. Это обеспечивает измерение средних магнитных свойств на этой глубине [4].

Для удобства регулировки и отсчета размагничивающего тока была взята только 1/3 часть витков намагничивающей обмотки, максимально приближенная к контролируемому изделию, что, как следует из работ [5, 6], позволяет несколько уменьшить влияние на величину размагничивающего тока коэрцитиметра непостоянства зазора между изделием и наконечниками электромагнита. Чтобы улучшить контакт полюсных наконечников с изделием и уменьшить магнитный поток рассеяния, шунтирующий испытуемое изделие, изготовили ярмо без сменных полюсных наконечников и для каждого типа деталей использовали свой приставной электромагнит с полюсами, подогнанными по форме детали.

Зависимость размагничивающего тока I_p коэрцитиметра от глубины d цементированного слоя закаленных деталей приведена на рис. 1. Видно, что на закаленных деталях твердостью не ниже 58 HRC показания

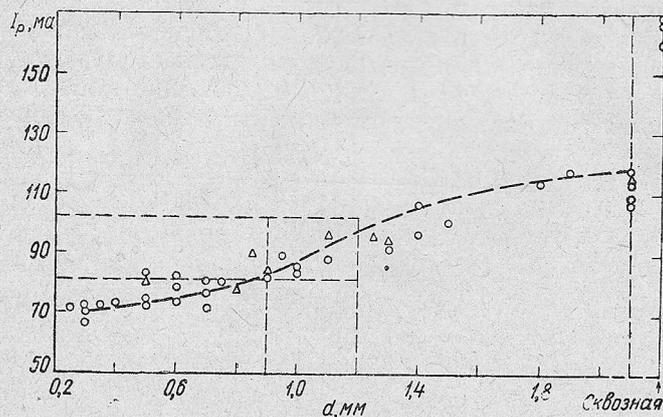


Рис. 1. Зависимость показаний I_p коэрцитиметра от глубины d цементированного слоя поршневых пальцев из стали 12ХН3А после закалки от 800°С:

Δ — плавка Т; \circ — плавка Х.

коэрцитиметра изменяются монотонно с глубиной слоя цементации. Если учесть, что точность определения глубины слоя цементации металлографическим способом не превышает $\pm 0,15$ мм и имеет место изменение глубины слоя в пределах контролируемого участка детали $\pm 0,3$ мм, то

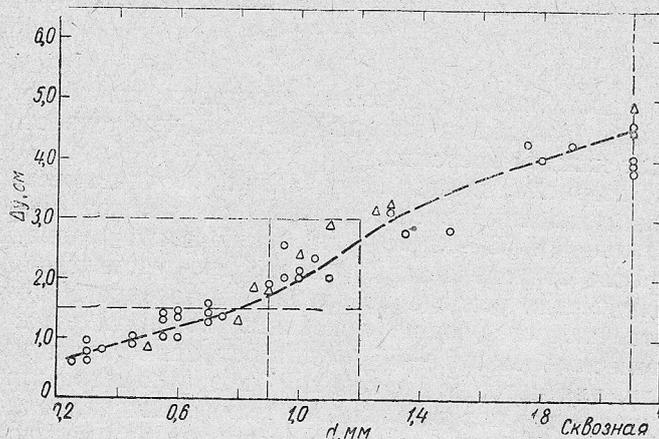


Рис. 2. Амплитуда Δu кривой дефектоскопа ЭМИД-4М в зависимости от глубины цементированного слоя поршневых пальцев из стали 12ХН3А, закаленных от 800°С. Род работы 2, ток датчика 0,1 а, чувствительность 6, фаза 120°. Эталон плавки Т. Усл. обозначения см. на рис. 1.

можно заключить, что коэрцитиметр с приставными электромагнитами достаточно чувствителен к изменениям глубины слоя цементации.

На разброс показаний коэрцитиметра при одной глубине цементации влияют не только изменение насыщенности слоя углеродом, возможное поверхностное обеднение углеродом (до 0,5—0,8%) на глубине

до 0,1 мм, изменение химического состава (в пределах марки), но и колебание толщины стенки детали [7]. Для поршневых пальцев допустима разностенность не более $\pm 0,5$ мм, тогда как в исследованных деталях она достигала ± 1 мм.

Как и следовало ожидать [8] отпуск выше 200° , сопровождающийся заметным снижением коэрцитивной силы и небольшим снижением твердости цементированного слоя, легко обнаруживается коэрцитиметром при любой глубине цементации. Наиболее уверенно после отпуска выявляются детали с пониженной глубиной и твердостью цементирован-

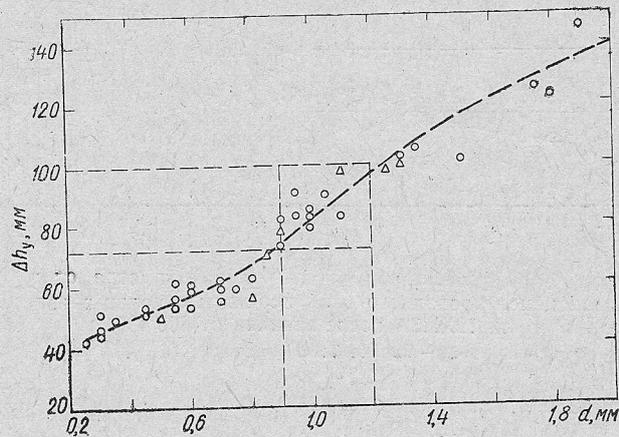


Рис. 3. Зависимость высоты Δh_y фигур Лиссажу от глубины цементированного слоя поршневых пальцев из стали 12ДНЗА, закаленных от 800°C . Эталон плавки Т, частота переменного тока 50 гц. Усл. обозначения см. на рис. 1.

ного слоя. Точность неповреждающего контроля совокупности термических операций (заковки и отпуска) меньше, чем точность такого же контроля после каждой операции.

Как видно из рис. 1, интервалы показаний коэрцитиметра, соответствующие годным изделиям после закалки, составляют 81—102 ма для поршневых пальцев и 53—62 ма — для пальцев кривошипа. После низкотемпературного отпуска деталям, полностью удовлетворяющим требованиям технических условий по глубине и твердости цементированного слоя, отвечают следующие показания коэрцитиметра: 80—95 ма для поршневых пальцев и 51—56 ма для пальцев кривошипа.

Все детали, для которых показания коэрцитиметра ниже нижнего предела, не удовлетворяют требованиям технических условий вследствие заниженного значения глубины слоя цементации или твердости поверхностного слоя. В деталях, которым соответствуют малые показания коэрцитиметра, могут оказаться заниженными против технических условий обе эти характеристики структуры и механических свойств одновременно. При показаниях коэрцитиметра выше верхнего предела детали также не могут быть признаны годными из-за завышенного значения одной или обеих характеристик одновременно.

Показания дефектоскопа типа ЭМИД-4М и моста переменного тока от глубины цементированного слоя закаленных деталей графически изображены на рис. 2, 3. Видно, что при закаленных деталях твердостью не ниже 58 HRC показания приборов изменяются монотонно с

глубины
глубины
ется
клон
оши
боле
па,
анал
М
мент
пере
паль
В
гии
коле
1 мм
ного
шого
цехов
том,
сколь
родно
Д
щих
цемен
водст
ной и
невых
менти
По
пальц
делах
пущен
твердо
88 ма,
но при
глубин
Ана
второй
цевинь
слоя 1
64 ма)
56 ма,
ную гл
число г
Цех
талей с
встреча
кривош
с норма
ческих
Оши
ям коэ
0,2 мм,
пальцев

глубиной слоя цементации. Наиболее эффективным методом контроля глубины и твердости цементированного слоя закаленных деталей является мостовой — по высоте фигур Лиссажу, а также по их форме и наклону. При отсутствии резких колебаний насыщенности углеродом ошибка определений глубины цементированного слоя составляет не более 0,15 мм для поршневых пальцев и 0,25 мм для пальцев кривошипа, то есть точность приближается к точности металлографического анализа.

Мостовой метод наиболее чувствителен к глубине и твердости цементированного слоя закаленных деталей при использовании частоты переменного тока около 150 гц для поршневых пальцев и 50 гц — для пальцев кривошипа.

В процессе исследований выяснено, что при существующей технологии цементации глубина цементированного слоя пальцев кривошипа колеблется по периметру детали для некоторых образцов более чем на 1 мм. Так как показания приборов типа ЭМИД-4М и моста переменного тока с «проходными» катушками отражают средние свойства большого участка поверхностного слоя контролируемого изделия, нами для цехового контроля применен коэрцитиметр с приставным электромагнитом, позволяющий измерять размагничивающий ток локально в нескольких местах изделия, благодаря чему можно контролировать однородность цементированного слоя деталей.

Для уточнения пределов показаний I_p коэрцитиметра, соответствующих нормальным деталям, были проведены измерения коэрцитиметром цементированных деталей нескольких партий непосредственно в производственном потоке и сопоставлены показания коэрцитиметра с глубиной и твердостью слоя и сердцевины. Всего исследовано 1550 шт. поршневых пальцев, из них на 110 шт. определена твердость и глубина цементированного слоя.

Показания коэрцитиметра, соответствующие годным поршневым пальцам после закалки и низкотемпературного отпуска, лежат в пределах 82—106 ма. По указанному нижнему пределу может быть пропущено в число годных 10% деталей с глубиной слоя 0,65—0,85 мм, твердостью 63—65 HRC. Если же нижний предел поднять, например, до 88 ма, то детали с глубиной слоя 0,65—0,75 мм будут отбраковываться, но при этом может быть забраковано около 10% деталей с нормальной глубиной и твердостью слоя.

Аналогично было исследовано 1080 шт. пальцев кривошипа после второй закалки, на 100 шт. определена глубина и твердость слоя и сердцевины. В процессе испытаний выявлено только три детали с глубиной слоя 1,2 мм, из которых две отбракованы. (Интервал годности 54—64 ма). Если же нижний предел показаний коэрцитиметра поднять до 56 ма, может быть забраковано около 10% деталей, имеющих нормальную глубину и твердость, но при этом на 50% уменьшится попадание в число годных деталей, имеющих глубину слоя 1,2—1,5 мм.

Цеховые испытания показали, что в производственных условиях деталей со слоем цементации, превышающем 2,4 мм, практически не встречается, поэтому можно проводить контроль качества пальцев кривошипа после низкотемпературного отпуска. В этом случае детали с нормальной твердостью, но заниженным против действующих технических условий слоем (1,2—1,3 мм) не попадут в число годных.

Ошибка определений глубины цементированного слоя по показаниям коэрцитиметра для закаленных поршневых пальцев составляет 0,2 мм, после низкотемпературного отпуска 0,25 мм, для закаленных пальцев кривошипа 0,3 мм.

ВЫВОДЫ

1. Наиболее эффективным методом контроля глубины и твердости цементированного слоя закаленных деталей рассматриваемого типа является мостовой метод по высоте и форме фигур Лиссажу.

2. Феррозондовый коэрцитиметр ФК-1 можно рекомендовать для определения качества химико-термической и термической обработок поршневых пальцев и пальцев кривошипа. Ошибка определений глубины цементированного слоя по показаниям коэрцитиметра на закаленных поршневых пальцах составляет 0,2 мм, после низкотемпературного отпуска 0,25 мм, на закаленных пальцах кривошипа 0,3 мм.

В заключение авторы выражают признательность начальнику металлографической лаборатории Ирбитского мотозавода Н. В. Богатыреву за изготовление деталей и их цементацию.

Уральский госуниверситет
им. А. М. Горького

Поступила в редакцию
в окончательном варианте
22 ноября 1973 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михеев М. Н., Неизвестнов Б. М., Морозова В. М., Сури Г. В. Дефектоскопия, 1969, № 2, 131.
2. Электромагнитный индуктивный дефектоскоп ЭМИД-3. Проспект ВДНХ СССР, Машгиз, 1959.
3. Кузнецов И. А., Михеев М. Н. ФММ, 1964, 17, 201.
4. Михеев М. Н. ФММ, 1957, 5, 44.
5. Фридман Л. А., Францевич В. М., Табачник В. П. Дефектоскопия, 1967, № 1, 71.
6. Морозова В. М., Михеев М. Н., Сури Г. В., Поморцева Л. В. Дефектоскопия, 1969, № 2, 29.
7. Кузнецов И. А., Михеев М. Н., Царькова Т. П. Дефектоскопия, 1973, № 2, 116.
8. Кузнецов И. А., Сомова В. М., Скрипова Н. М. Дефектоскопия, 1974, № 4, 110.

УДК 620.179.14

РАСЧЕТ КОЭРЦИТИМЕТРА С ВНУТРЕННЕЙ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Г. В. Бида

Произведен расчет выходного тока, коэффициента и магнитодвижущей силы отрицательной обратной связи, магнитных потоков и других параметров магнитной цепи датчика в зависимости от числа витков индикаторной обмотки. Описаны связанные с расчетом эксперименты.

В существующих коэрцитиметрах с приставными электромагнитами для измерения относительной величины коэрцитивной силы испытуемого изделия используется внешняя отрицательная обратная связь [1—3], причем в приборах, описанных в [2, 3], она осуществляется методом автотокомпенсации.

В данной работе рассчитаны и исследованы параметры магнитной цепи датчика прибора, в котором для измерения коэрцитивной силы испытуемого изделия используется внутренняя отрицательная обратная связь, что позволило существенно упростить измерительную аппаратуру [4].

На
испыт
намот
дающ
бран

обмот
ком и
Ис
стоян
нитч
участ

вонач
начен
и соп
ной т
ние п
напра
тельн
ание