

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ БУРОВЫХ ДОЛОТ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА, ИЗМЕРЯЕМЫЕ ФЕРРОЗОНДОВЫМ КОЭРЦИТИМЕТРОМ

М. М. Гаврилюк, А. В. Давыдович

Изучены коэрцитивная сила и качество деталей буровых долот, изготавливаемых из стали 20ХНЗА, в зависимости от режимов химико-термической обработки. Установлена связь между значениями коэрцитивной силы и данными металлографического анализа. Определены условия, при которых возможен контроль качества деталей неразрушающим магнитным способом, по точности не уступающий металлографическим методам.

Магнитные свойства долотных сталей на образцах, в том числе и цементованных, термообработанных при различных режимах, детально исследованы в [1]. Результаты контроля глубины и твердости цементированного слоя деталей буровых долот феррозондовым коэрцитиметром приведены в работе [2].

Применение феррозондового коэрцитиметра для контроля качества химико-термической обработки деталей буровых долот, изготавливаемых из стали 20ХНЗА, не всегда дает верные результаты. Это видно из практики контроля на Дрогобычском долотном заводе, а также из данных работы [2]. Например, авторы [2] получили показания коэрцитиметра 41—42 *ма* для деталей с твердостью поверхности 54,5 *РС* и глубиной слоя 1,5 *мм*, в то время как более высокие показания (44 *ма*) были получены для деталей с такой же твердостью, но глубиной слоя 1,1 *мм*. Эти расхождения могли возникнуть за счет несоблюдения режимов химико-термической обработки, неточностей установки приставного электромагнита, больших погрешностей измерения коэрцитивной силы и параметров цементированного слоя, разной твердости сердцевин и т. п.

Чтобы исключить влияние факторов методического характера на результаты контроля, проводились измерения с погрешностями коэрцитивной силы коэрцитиметром $\pm 0,5$ *ма*, твердости поверхности и сердцевин ± 1 *РС*, глубины слоя $\pm 0,1$ *мм* и при условии дифференцирования микроструктур по карбидным и аустенитным баллам для цементированного слоя, а также качественной оценки микроструктур сердцевин. В этих условиях результаты, полученные с помощью феррозондового коэрцитиметра, совпадали с данными металлографического метода только в 75—80% случаев. Процент совпадения результатов повышается, если контроль деталей производить в отдельности для каждой технологической линии. Такая организация контроля исключает до некоторой степени влияние колебаний режимов химико-термической обработки на результаты анализа качества готовых изделий.

Однако внедрить коэрцитиметр в производство даже в льготных условиях мы не смогли до тех пор, пока не исследовали закономерности изменения значений коэрцитивной силы в зависимости от изменения режимов химико-термической обработки и не определили условия, при которых существует достаточно надежная связь между результатами неразрушающего контроля и данными металлографического анализа.

Рассмотрим изменение значений коэрцитивной силы и параметров химико-термической обработки в зависимости от режимов второй закалки и низкого отпуска, оказывающих наибольшее влияние на свойства готовых деталей. В отличие от [1] в настоящей работе исследованы значения коэрцитивной силы, свойства сердцевин и цементированного слоя непосредственно на лапах долота и в более узком интервале темпе-

ратур закалки, встречающихся на практике с допуском на возможные погрешности температурного режима.

Из рис. 1 видно, что с изменением режимов термообработки значения коэрцитивной силы изменяются по-разному для термообработанных цементованных и нецементованных деталей. Для лап бурового долота участок неполной закалки сердцевины при $750-780^{\circ}\text{C}$ вырисовывается четко, коэрцитивная сила и твердость выше, чем для деталей с полной закалкой сердцевины. Для термообработанных нецементированных деталей наблюдается связь между значениями коэрцитивной силы и твердостью сердцевины, позволяющая достаточно надежно оценивать каче-

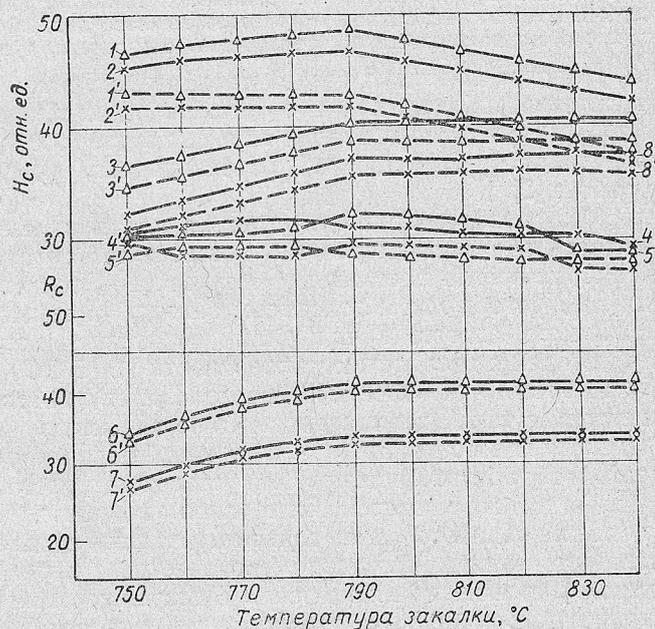


Рис. 1. Зависимость коэрцитивной силы (кривые 1—3; 1'—3'; 8—8') и твердости (кривые 4—7; 4'—7') лап от температуры закалки:

Δ — закалка в воде; X — закалка в масле; 1, 2, 4, 5 — цементованные детали; 1', 2', 4', 5' — то же после отпуска при 150° ; 3, 8 — нецементованные детали; 3', 8' — то же после отпуска при 150° ; 6, 7 — сердцевина; 6', 7' — то же после отпуска при 150° .

ство термической обработки нецементованных деталей по результатам неразрушающего контроля.

С возрастанием температур закалки нецементированных деталей значения коэрцитивной силы возрастают и при температуре выше A_1 практически остаются постоянными.

Для цементованных термообработанных деталей показания коэрцитивметра зависят не только от цементованного слоя, но и от свойств сердцевины. Авторы [2] считают, что цементованные изделия в первом приближении являются двухслойным ферромагнетиком, коэрцитивная сила которого при локальном намагничивании приставным электромагнитом при твердостях сердцевины $24-37 RC$ зависит в основном от цементованного слоя.

Нами был проделан опыт, моделирующий свойства цементованного слоя и сердцевины с заданными значениями. Сущность его заключается в следующем. После полной химико-термической обработки в области большой беговой дорожки лапы удаляли механически (высвер-

вание с растачиванием) сердцевину и вместо нее слепка (от руки) запрессовывали цилиндрические образцы, термообработанные при различных режимах. Для каждого образца определяли коэрцитивную силу при предельном насыщении и свойства сердцевинной или цементированного слоя. Результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Образец	Коэрцитивная сила, отн. ед.
Готовая термообработанная лапа* с твердостью сердцевины 25 RC	52
То же, но с удаленной сердцевиной и толщиной цементированного слоя 2 мм	84
Термообработанная нецементированная лапа с твердостью поверхности:	
42—43 RC	47
32 RC	43
170 HB	20
Термообработанная лапа с удаленной сердцевиной и запрессованным образцом с поверхностной твердостью:	
42—43 RC	60
32 RC	56
28 RC	51
170 HB	48
Термообработанная лапа, закаленная в воде, с твердостью поверхности 42—43 RC, без цементированного слоя и с удаленной сердцевиной, толщина стенки 2 мм	63

* Имеется в виду цилиндрическая часть лапы без хвостика.

Из сравнения значения коэрцитивной силы деталей до удаления сердцевины с данными на моделях видно, что сердцевина оказывает значительное влияние на результирующую коэрцитивную силу цементованных деталей. Это подтверждают эксперименты, выполненные на реальных деталях. Изменения свойств цементированного слоя и коэрцитивной силы изучались на деталях с удаленной сердцевиной, на образцах специальной выплавки с разным содержанием углерода, на образцах с различной глубиной цементации вплоть до смыкания слоев, а также на деталях с одинаковыми свойствами сердцевины, но с разными параметрами по цементированному слою и наоборот.

На рис. 2 показано изменение коэрцитивной силы и твердости цементированного слоя в зависимости от температуры второй закалки для образцов с разным содержанием углерода. Для образцов из стали с высоким содержанием углерода 0,2% зависимость коэрцитивной силы и твердости такая же, как для термообработанных деталей долота (см. рис. 1, кривая 3 и рис. 2, кривая 5).

В обоих случаях участок неполной закалки характеризуется заниженными значениями коэрцитивной силы и твердости. При содержании углерода 0,45% коэрцитивная сила и твердость изменяются незначительно с возрастанием температуры второй закалки, и при содержании углерода больше 0,65% значения коэрцитивной силы и твердости падают с увеличением температуры в основном за счет увеличения остаточного феррита и укрупнения зерен аустенита и мартенсита (рис. 3). В связи с этим на кривых 1 и 2 рис. 1 довольно четко выделяется участок, характеризующийся понижением коэрцитивной силы с возрастанием температуры выше 780—790°. При температуре закалки 750—780° коэрцитивная сила постоянно или несколько занижается за счет влияния сердцевины. В то же время, что коэрцитивная сила на аналогичном участке для образцов с содержанием углерода 0,8—1,0% не понижается (рис. 2, кривые 1 и 2), является прямым подтверждением этому.

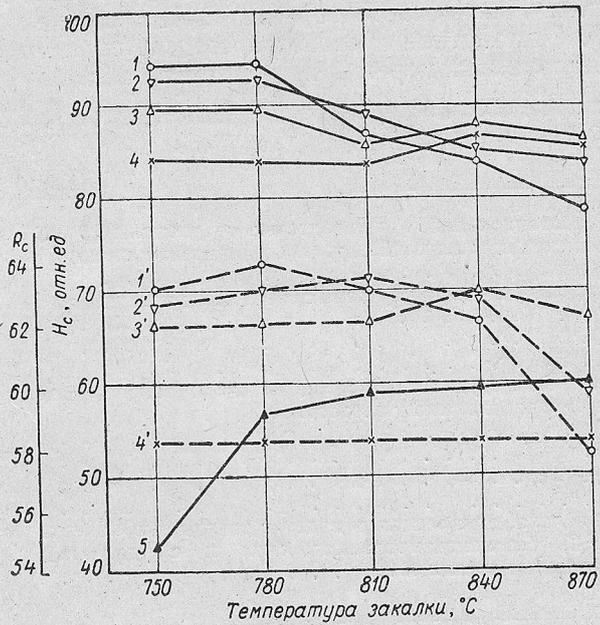


Рис. 2. Зависимость коэрцитивной силы и твердости цементированного слоя от температуры закалки и содержания углерода (образцы размером $4,5 \times 6,0 \times 55$ мм):
 — H_c ; --- RC; 1, 1' — C = 1,05%; 2, 2' — C = 0,82%; 3, 3' — C = 0,65%; 4, 4' — C = 0,45%; 5 — C = 0,20%.

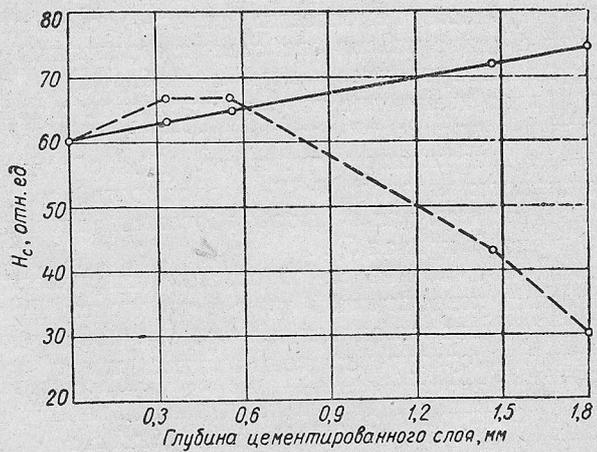


Рис. 3. Зависимость коэрцитивной силы цементированного слоя от глубины цементации и остаточного аустенита после закалки образцов $4,5 \times 6,0 \times 55$ мм:
 --- при 880°; — при 780°.

Влияние сердцевины на показания коэрцитиметра для цементованных термообработанных лап заметно, если их охлаждать при закалке с различной скоростью, то есть в разных средах (масло, вода). В результате таких условий охлаждения твердость цементированного слоя одинакова, но твердость сердцевины за счет разной охлаждающей способности среды изменяется. Это приводит к занижению твердости сердцевины деталей, охлажденных в масле, следовательно, к занижению коэрцитивной силы цементованных деталей (см. рис. 1, кривые 1 и 2). Правда, изменение показаний коэрцитиметра составляет всего 1—2 ма, однако этим влиянием пренебрегать нельзя, тем более, что оно не намного отличается от влияния таких основных параметров слоя, как глубина, остаточный аустенит и твердость (рис. 4, табл. 2). Степень закаливаемости сердцевины имеет также большое практическое значение при выборе участка детали, на котором измеряется коэрцитивная сила.

Для организации массового контроля качества химико-термической обработки деталей феррозондовым коэрцитиметром недостаточно знать закономерности изменения коэрцитивной силы в зависимости от режимов термообработки и оговариваемые свойства. Необходи-

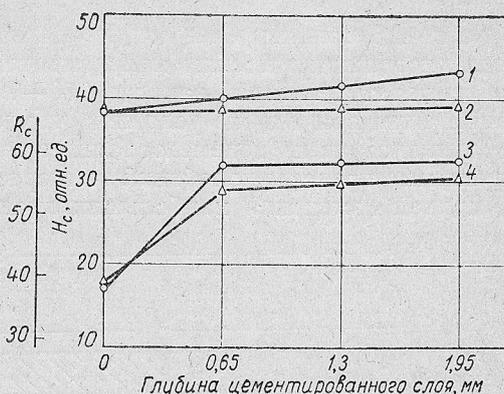


Рис. 4. Зависимость коэрцитивной силы и твердости от глубины цементированного слоя лап долота диаметром 295 мм: О — закалка при 780°; Δ — при 880°; 1 и 2 — коэрцитивная сила; 3 и 4 — твердость.

Таблица 2

Вид обработки	Твердость RC	Коэрцитивная сила, опп. ед.
Дополнительный высокий отпуск деталей с содержанием углерода (в %) на поверхности цементированного слоя:		
0,6—0,7	57—60	42—46
0,8—1,0	58—61	42—47
Закалка деталей с содержанием углерода 0,8—1,0 %:		
на мелкозернистый мартенсит	58—61	42—47
на крупногоччатый мартенсит с большими включениями аустенита	55—59	38—45
Низкий отпуск деталей:		
без отпуска	62—63	46—49
отпуск при 150°	58—61	44—47
отпуск при 200°	56—58	40—42

димо еще выбрать такой участок детали, на котором обеспечивается гарантированный разрыв между минимальными значениями коэрцитивной силы цементированных термообработанных деталей и максимальными — нецементированных термообработанных. К сожалению, такой участок измерения не всегда можно отыскать для всех деталей и условий химико-термической обработки.

Установлено, что для лап долота диаметром 269—295 мм в случае измерения коэрцитивной силы по большой беговой дорожке при температуре закалки 760—800° левее точки *K* обеспечивается достаточный разрыв между значениями коэрцитивной силы цементованных (рис. 5, кривые 1, 2) и нецементованных (см. рис. 5, кривые 3, 4) термообработанных деталей. Правее точки *K* в области полосы *B* значения коэрцитивной силы цементованных деталей могут оказаться меньше нецементованных.

На рис. 5 приняты следующие обозначения: *a* — верхний допустимый предел коэрцитивной силы для цементованных термообработанных лап при температуре второй закалки 770—790°; *b* — нижний предел коэрцитивной силы при тех же условиях, что для *a*; *v* — наибольшие значения коэрцитивной силы нецементованных термообработанных лап; *г* и *д* — допустимые пределы колебаний температуры второй закалки 770°—790°; *I* — кривая изменения наибольших предельных значений коэрцитивной

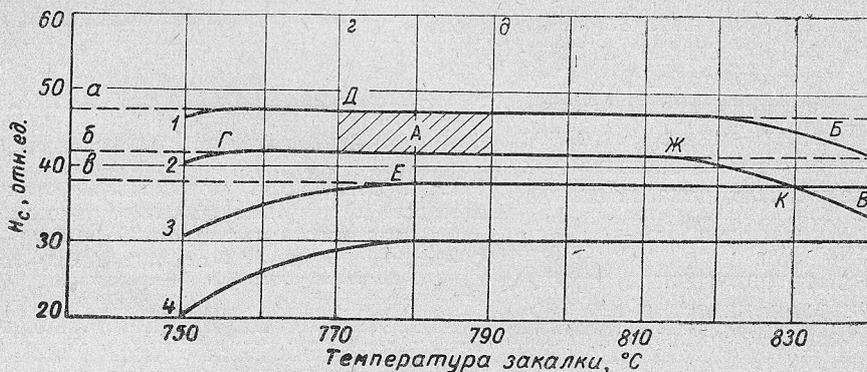


Рис. 5. Полосы значений коэрцитивной силы цементованных и нецементованных деталей.

силы деталей с глубиной слоя, концентрацией углерода и твердостью сердцевины в заданных пределах; 2 — кривая изменения наименьших предельных значений коэрцитивной силы при тех же условиях, что и для кривой 1; 3 — верхние значения коэрцитивной силы термообработанных нецементованных деталей; 4 — нижние значения коэрцитивной силы термообработанных нецементованных деталей.

Для более глубокого анализа желательно установить не только браковочные пределы в интервале допустимых, согласно технологии, колебаний температур (770—790°), но и посмотреть, как изменялись бы значения коэрцитивной силы для деталей с нормальным слоем и концентрацией с изменением температур сверх допустимых значений, что в реальных условиях не исключено. На рис. 5 построены полосы предельных значений коэрцитивной силы термообработанных нецементованных и цементованных деталей с глубиной цементации, концентрацией углерода и твердостью сердцевины в заданных пределах.

В области полосы *A* имеем наивысший процент совпадения результатов неразрушающего контроля с данными металлографического анализа. Для лап долот размером 243—295 мм мы добились совпадения результатов: по микроструктуре 100%, по твердости поверхности 99,5% и сердцевины 95%, по глубине слоя 95,4%. В тех случаях, когда результаты не совпадали, расхождения не превышали по глубине слоя $\pm 0,25$ мм, по твердости цементованного слоя $\pm 1,5$ RC и сердцевины $\pm 2,5$ RC. При значениях коэрцитивной силы выше установленных (об-

ласть Д) детали имеют завышенный слой или завышенную твердость поверхности за счет занижения температуры низкого отпуска или завышенную твердость сердцевины в деталях из плавок повышенной прокаливаемости.

В области Е занижены твердость поверхности цементированного слоя, глубина цементации и твердость сердцевины. Если наблюдаются отклонения от температурного режима, то не исключена возможность попадания в число годных деталей с завышенным цементированным слоем (область Г) при условии занижения температур закалки, а при их завышении — деталей с заниженной концентрацией углерода (область Б) или завышенным содержанием аустенита (область Ж).

Дрогобычский долотный
завод

Поступила в редакцию
18 января 1971 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Морозова В. М., Михеев М. В., Захарова Г. Н. и Поморцева Л. В. Дефектоскопия, 1966, № 5, 77.
2. Морозова В. М., Михеев М. Н., Сурин Г. В. и Поморцева Л. В. Дефектоскопия, 1969, № 1, 29.

УДК 620.179.14

ЭФФЕКТ БЛИЗОСТИ В ОБМОТКАХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ВИХРЕВЫХ ТОКОВ

И. П. Паршин

Рассмотрены закономерности изменения вносимого активного сопротивления, связанного с перераспределением поля в обмотках параметрических датчиков. Для расчета получено аналитическое выражение, учитывающее дополнительное изменение вносимого активного сопротивления, обусловленное эффектом близости в погружном параметрическом датчике.

В работах [1—4], посвященных расчету параметрических датчиков вихревых токов, для простоты решения задачи по определению вносимых величин, характеризующих взаимодействие между датчиком и исследуемым образцом, наряду с другими допущениями принято, что ток, обтекающий обмотку, сосредоточен на оси провода и не перераспределяется в процессе контроля. Для очень тонких проводов это допущение дает небольшую погрешность, а в общем случае справедливо лишь тогда, когда амплитуда напряженности магнитного поля в объеме, занятом обмоткой датчика, в процессе контроля не изменяется.

Однако, как будет показано ниже, напряженность магнитного поля в сечении обмотки при контроле остается постоянной только в проходном датчике. В погружном и накладном датчиках это поле изменяется в широких пределах в зависимости от степени изменения электромагнитной связи датчика с образцом, что приводит к перераспределению плотности тока в сечении провода обмотки и, как следствие, к изменению активного сопротивления, обусловленного эффектом близости. В этих случаях экспериментальные величины не совпадают с величинами активных сопротивлений, рассчитанных по существующей методике. Погрешности при этом, как показывает опыт, иногда достигают 50—