Доклады Академии наук СССР
1955. Том 102, № 3

ФИЗИКА

Я. С. ШУР и В. Р. АБЕЛЬС

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ПОРОШКОВЫХ ФИГУР СУБОБЛАСТЕЙ НА КРИСТАЛЛАХ КРЕМНИСТОГО ЖЕЛЕЗА

(Представлено академиком И. К. Кикоиным 5 II 1955)

1. Как было показано ([1-2]), наличие дефектов в ферромагнетиках приводит к появлению магнитных зарядов около дефекта. В этом случае (если эти дефекты не очень малых размеров) энергетически выгодно появление дополнительных областей — субобластей, которые обеспечивают такое замыкание магнитного потока вблизи дефекта, при котором исчезают магнитные полюса. Несмотря на важность вопроса о субобластях, которые должны оказывать существенное влияние на протекание процессов технического намагничивания в ферромагнетиках, эти области изучены недостаточно как теоретически, так и, в особенности, экспериментально ([3]).

В настоящей работе приведены экспериментальные результаты изучения методом магнитных порошков на кристаллах кремнистого железа условий возникновения субобластей и влияния этих областей на процессы технического намагничивания.

2. Изучение субобластей производилось на крупнокристаллических образцах листового кремнистого железа ($\sim 4\%$ Si). Преимущественная ориентация кристаллитов такова, что поверхность образца составляет малый угол с плоскостью (100) или (110); в дальнейшем будем обозначать эти образцы, соответственно, образец (100) и образец (110). Как показали наши наблюдения, только на таких образцах возможно наблюдение субобластей, так как при других кристаллографических ориентировках на поверхности образцов возникают замыкающие области, на фоне которых субобласти становятся неразличимыми.

Подготовка поверхности образцов и приготовление магнитной суспензии производилось по способу Эльмора ([4]). Наблюдения порошковых фигур производились при помощи микроскопа МИН-5. Исследуемые образцы имели форму дисков диаметром ~ 10 мм и толщиной $\sim 0{,}3$ мм. Намагничивание исследуемых образцов производилось при помощи двух соленоидов, расположенных на одной оси, между которыми в небольшом объеме создавалось однородное магнитное поле. Величина поля могла изменяться от 0 до 400 эрст.

3. Наблюдениями над порошковыми фигурами было установлено, что на поверхности исследуемых кристаллов, наряду с четкими границами основных областей, обнаруживаются субобласти; форма этих областей и ориентация намагниченности в них зависят от кристаллографической ориентации поверхности образца. Так, на рис. 1 *а* приведен фотоснимок субобластей около дефекта, полученных на образце (100), и стрелками показана ориентация намагниченности в основной области и субобластях. В данном случае дефектом является лунка на поверхности образца. Если на поверхности образца (110) имеется дефект, то около него образуется субобласть, у которой намагниченность антипараллельна намагниченности основной области (см. рис. 1 *б*).

В некоторых случаях субобласти возникают на таких участках поверхности кристалла, где сами дефекты не выявляются порошком.

Если имеется несколько близко расположенных дефектов, то они замыкаются между собою субобластями (см. рис. 2).

Субобласти возникают также около царапин на поверхности образца. Если на поверхности образца (110) имеется царапина, перпендикулярная направлению намагниченности основных областей, то субобласти имеют обычную кинжаловидную форму (см. рис. 3). В некоторых случаях наблюдается возникновение около царапин замыкающих областей, предсказанных Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшицем для случая одноосного монокристалла ([5]).

Субобласти обнаруживаются также на границах между кристаллитами; их появление возможно в тех случаях, когда сама граница содержит дефекты или когда соприкасающиеся кристаллиты имеют резко отличную кристаллографическую ориентацию. Аналогичные субобласти наблюдаются у края образца.

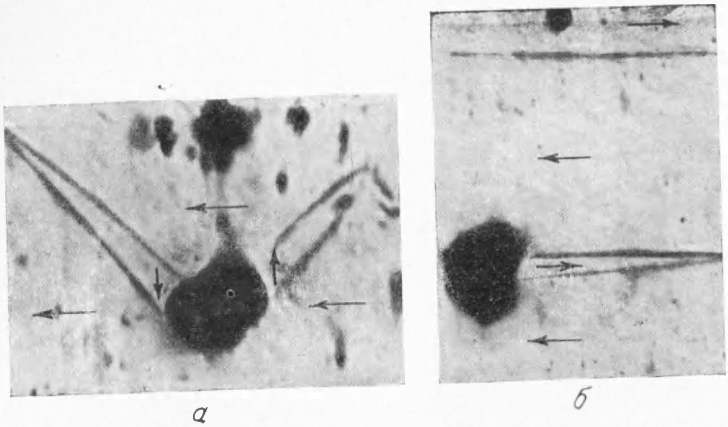
Субобласти оказывают существенное влияние на протекание процессов смещения. Это влияние может быть проиллюстрировано рис. 4, где показано, как под действием поля происходит смещение 180° границы между основными областями; в исходном состоянии (до включения магнитного поля) эта граница пересекает дефект.

Магнитная структура исходного состояния представлена на рис. 4 *а*. При небольшом удалении границы от дефекта возникают субобласти (рис. 4, *б*), связывающие границу с дефектом; по мере удаления границы они все более вытягиваются. При достаточном удалении границы от дефекта одна субобласть отрывается от границы и, как видно из рис. 4 *в*, возможно возникновение субобласти у дефекта с другой ориентацией намагниченности. Такое же влияние на процессы смещения границ оказывает дефект, вызванный пластической деформацией. Еще более сложным образом протекает процесс смещения 180° границы, когда на ее пути встречается несколько близко расположенных дефектов.

4. Анализ полученных результатов позволяет сделать несколько общих заключений.

А. Независимо от природы дефекта (включение, пустота, искажение кристаллической решетки) вид возникающих около дефекта субобластей однотипен. Основное различие в субобластях вызвано ориентацией поверхности кристаллитов и может быть объяснено, исходя из следующих соображений. На поверхности образца (110) имеется одно направление легкого намагничивания, которое благодаря анизотропии формы образца (тонкий диск) является легчайшим по сравнению с двумя другими легкими направлениями (магнитная одноосность). Благодаря этому намагниченность в субобластях ориентирована вдоль легкого направления в плоскости образца и составляет угол 180° с намагниченностью основных областей (рис. 1 *б*). На поверхности образца (100) имеется два направления легкого намагничивания, и поэтому намагниченность в субобластях может быть ориентирована как параллельно, так и перпендикулярно к намагниченности основных областей. Однако при перпендикулярной ориентации намагниченности субобластей возникают минимальные магнитные заряды на границе субобласти с дефектом (рис. 1 *а*).

Б. Возникающие около различных дефектов субобласти препятствуют протеканию процессов смещения. Как показывает опыт, во многих случаях, когда граница, пересекающая в исходном состоянии дефект, начинает смещаться, то она испытывает со стороны дефекта притяжение, и только при значительном удалении от дефекта его влияние на смещающуюся границу исчезает. Отсюда вытекает, что для облегчения процессов технического намагничивания в мягких магнитных материалах необходимо принять меры к тому, чтобы в нем не возникали субобласти. Это может быть достигнуто путем максимального предотвращения возможно-



а *б*

Рис. 1. *а*—× 670; *б*—× 450



Рис. 2. × 350

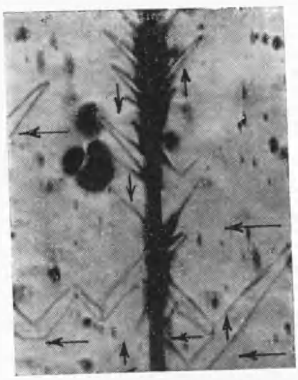
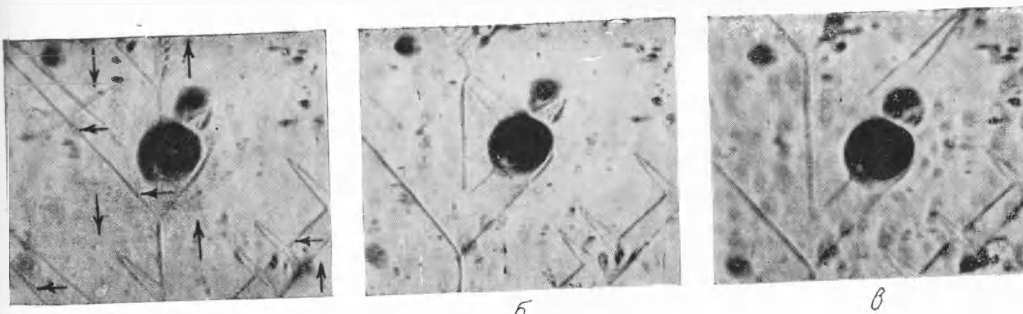


Рис. 3. × 350



а *б* *в*

Рис. 4. × 350

сти появления дефектов в материале. Из этих опытов также следует, что с уменьшением размеров кристаллитов должны ухудшаться свойства мягкого магнитного материала, так как при этом возрастает удельная поверхность границ между кристаллитами, а следовательно, и объем, занимаемый субобластями. Так как при близкой ориентации соседних кристаллитов граница между областями может проходить через границу кристаллитов (и тогда около такой границы не возникает субобласти), то отсюда вытекает, что в кристаллографически текстурованных материалах будут существовать меньшие препятствия для процессов смещения границ, чем в нетекстурованных. Следовательно, ухудшение свойств мягких магнитных материалов при размельчении кристаллических зерен будет ощущаться слабее в кристаллографически текстурованных материалах.

Следует также ожидать, что в листовом материале с гладкой поверхностью (холоднокатаном) свойства должны быть выше, чем в материале с неровной поверхностью (горячекатаном), так как в последнем случае на неровной поверхности листа возникают субобласти.

Институт физики металлов
Уральского филиала Академии наук СССР

Поступило
2 II 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] L. Neel, Cahiers de Phys., 25, 21 (1944). [2] Е. И. Кондорский, ДАН, 68, 37 (1949). [3] H. J. Williams, W. Shockly, Phys. Rev., 75, 178 (1949); B. Elschner, Ann. Phys., 13, 290 (1953). [4] W. C. Elmore, Phys. Rev., 54, 1092 (1938). [5] Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, Sow. Phys., 8, 153 (1953).