

Кандидат физико-математических наук П. П. ГАЛЕНКО

ИЗМЕНЕНИЕ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ НИКЕЛЯ ПРИ ПОВТОРНЫХ ЦИКЛАХ ЗНАКОПЕРЕМЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Вопросам изучения взаимосвязи механических, физических и магнитных свойств ферромагнитных металлов посвящен ряд теоретических и экспериментальных исследований.

Еще в 1865 г. [1] Виллари исследовал влияние знакопостоянной деформации растяжения на магнитные свойства железа. Дальнейшие экспериментальные исследования в основном были посвящены изучению изменения магнитных свойств ферромагнитных металлов при одноосном растяжении и сжатии. Для монокристаллов современная теория технической кривой намагничивания, основы которой были заложены фундаментальными работами Н. С. Акулова (1928 г.) [2], в состоянии объяснить, по крайней мере, качественно, довольно сложное влияние упругих деформаций на эту кривую.

Таким образом, вопросы, касающиеся исследования влияния знакопостоянной деформации растяжения и сжатия на магнитные свойства ферромагнитных металлов, более или менее изученных экспериментально и качественно, объясняются имеющимися теориями. Работ же, посвященных изучению влияния упругих знакопостоянных деформаций кручения на магнитные свойства ферромагнетиков, проведено мало, не говоря уже о влиянии пластических, циклических и, тем более, повторно циклических деформаций. Исследования влияния циклических и повторно многократных циклических деформаций на магнитные свойства ферромагнитных металлов имеют как практическое значение, так и особенно теоретическое в связи с проблемой усталости металлов.

В работах автора [3, 4, 5, 6] даны экспериментальные исследования влияния знакопостоянных, а также циклических деформаций кручения на магнитные свойства никеля и

армко-железа в разных намагничивающих продольных полях. В данной работе приводятся экспериментальные исследования влияния повторно-многократных циклических деформаций кручения на магнитную проницаемость никеля.

Опытные данные

При исследовании брались образцы из технически чистого никеля в виде проволок диаметром 1,5 мм. Для снятия внутренних напряжений образцы подвергались отжигу в вакууме. Вакуум был подобран таким, что обеспечивался светлый отжиг без заметного окисления поверхности образца. Такая термообработка обеспечивала одно и то же исходное состояние для всех образцов, а также исключала наличие окалины, оказывающей влияние при дальнейшем исследовании.

Циклические деформации осуществлялись при знакопеременном закручивании. Такой вид знакопеременного нагружения позволяет непрерывно проследить за характером изменения магнитных свойств на одном и том же образце в данном намагничивающем поле за полный квазицикл, а также при последующих повторных циклах. Этого невозможно получить при испытаниях на повторное растяжение-сжатие и знакопеременном изгибе.

Знакопеременное закручивание осуществлялось по методике, данной в работе [7]. Изменение магнитной проницаемости в процессе знакопеременного закручивания измерялось по дифференциальной схеме, аналогично как в работах [3, 5, 6].

Отклонение баллистического гальванометра прямо пропорционально изменению магнитной проницаемости деформируемого образца. В общем случае потоки в образцах для одного витка соответственно равны:

$$\left. \begin{aligned} \Phi_1 &= B_1 q_1 + H(S_1 - q_1); \\ \Phi_2 &= B_2 q_2 + H(S_2 - q_2), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где: Φ_1 — поток для эталонного образца в поле H ;
 Φ_2 — для образца, подвергаемого деформации в этом же поле;

B_1, B_2 — индукции образцов;

q_1, q_2 — сечения образцов;

S_1, S_2 — средние сечения витков мерительных катушек.

Замечая, что индукция B с проницаемостью связана соотношением

$$B = \mu H, \quad (2)$$

Тогда разность потоков будет равна:

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = (\mu_2 q_2 - \mu_1 q_1) H + [(S_2 - S_1) + (q_1 - q_2)] H. \quad (3)$$

Сечение образцов практически одинаково $q_1 = q_2 = q$
и

$$\Delta\Phi = (\mu_2 - \mu_1) qH + \Delta SH. \quad (4)$$

Величина потока $\Delta\Phi$ до деформации образца, обусловленная нестрогим сохранением одинаковых размеров мерительных катушек и некоторым начальным различием свойств самих образцов, незначительная. Начальное отклонение гальванометра за счет $\Delta\Phi$ может быть скомпенсировано.

Если один образец подвергнуть деформации, то его магнитная проницаемость будет уменьшаться или увеличиваться. Величина нескомпенсированного потока увеличивается или уменьшается в зависимости от знака приращения магнитной проницаемости

$$\Delta\Phi' = [(\mu_2 \pm \Delta\mu_2) - \mu_1] qH + \Delta sH \quad (5)$$

или

$$\Delta\Phi' = [(\mu_2 - \mu_1) qH + \Delta sH] \pm \Delta\mu_2 qH \\ \Delta\Phi' = \Delta\Phi \pm \Delta\Phi''. \quad (6)$$

В процессе опыта $\Delta\Phi$ постоянно, а будет меняться только величина $\Delta\Phi''$ за счет изменения проницаемости образца, подвергаемого деформированию.

$$\Delta\Phi'' = \pm \Delta\mu_2 qH. \quad (7)$$

При рассмотрении изменения магнитного потока в соотношении (6) нами только учтено изменение магнитной проницаемости образца. Изменение магнитного потока могло произойти за счет изменения сечения образца, который подвергался деформации. Это, конечно, могло иметь место при деформировании на растяжение-сжатие, при деформации же кручения сечение образца практически не изменяется. Таким образом, отклонения гальванометра α прямо пропорциональны абсолютному изменению магнитной проницаемости образца $\Delta\mu_2$.

Разработанные методики в работах [3, 7] позволили при циклическом изменении угла закручивания $-\varphi_a \leq \varphi \leq +\varphi_a$ одновременно замерять изменения магнитной проницаемости образца и механическую петлю гистерезиса. По последней, в свою очередь, можно было судить о стадии знакопере-

менного нагружения. Знакопеременное закручивание производилось при постоянной амплитуде угла закручивания φ_a . Амплитуда была выбрана такой, при которой заметно выражены пластические деформации, являющиеся первопричиной раскрытия значительных размеров петли гистерезиса.

В работе [5] приведены исследования влияния знакопеременного закручивания на изменения магнитной проницаемости никеля для первого цикла знакопеременного нагружения в разных намагничивающих полях. В средних полях кривые $\Delta\mu = f(\varphi)$ в первом цикле знакопеременного нагружения для нисходящей и восходящей ветвей петли гистерезиса имеют самый простой характер.

На кривых $\Delta\mu = f(\varphi)$ в этих полях наблюдается лишь одно экстремальное значение изменения магнитной проницаемости, а в слабых — два.

На рис. 1—2 приведены результаты влияния повторных знакопеременных деформаций кручения на магнитные свойства никеля для различного числа циклов в намагничивающем поле $H = 30$ эрстед.

При знакопеременном закручивании для каждого цикла строились кривые $\Delta\mu = f(\varphi)$ и петли гистерезиса. Направленные деформации и ход изменения магнитной проницаемости на графиках соответственно указаны стрелками.

Для первого цикла ($n = 1$) кривые $\Delta\mu = f(\varphi)$, соответствующие нисходящей и восходящей ветвям петли гистерезиса, имеют лишь одно экстремальное значение изменения магнитной проницаемости. По мере увеличения числа циклов характер изменения магнитной проницаемости усложняется. Число экстремальных значений на кривых $\Delta\mu = f(\varphi)$ растет и при $n = 350$ достигает четырех значений. При дальнейшем увеличении числа циклов характер кривых $\Delta\mu = f(\varphi)$ стабилизируется и число экстремумов остается постоянным. Характерным является то, что кривые $\Delta\mu = f(\varphi)$ для нисходящей и восходящей ветвей петли гистерезиса при одном и том же цикле имеют одинаковый вид с одним числом экстремальных значений. Эти экстремальные значения до некоторой степени расположены симметрично относительно оси ординат и отличаются лишь по абсолютной величине.

С возрастанием числа циклов кривые $\Delta\mu = f(\varphi)$ смещаются в область больших отрицательных значений изменения магнитной проницаемости.

Это хорошо видно из сравнения первых экстремальных значений изменения магнитной проницаемости при $n = 1$ и $n = 350$. Эти значения по оси ординат сместились примерно на 60 единиц. Следует также отметить, что с появлением новых экстремумов на кривых $\Delta\mu = f(\varphi)$ при увеличении

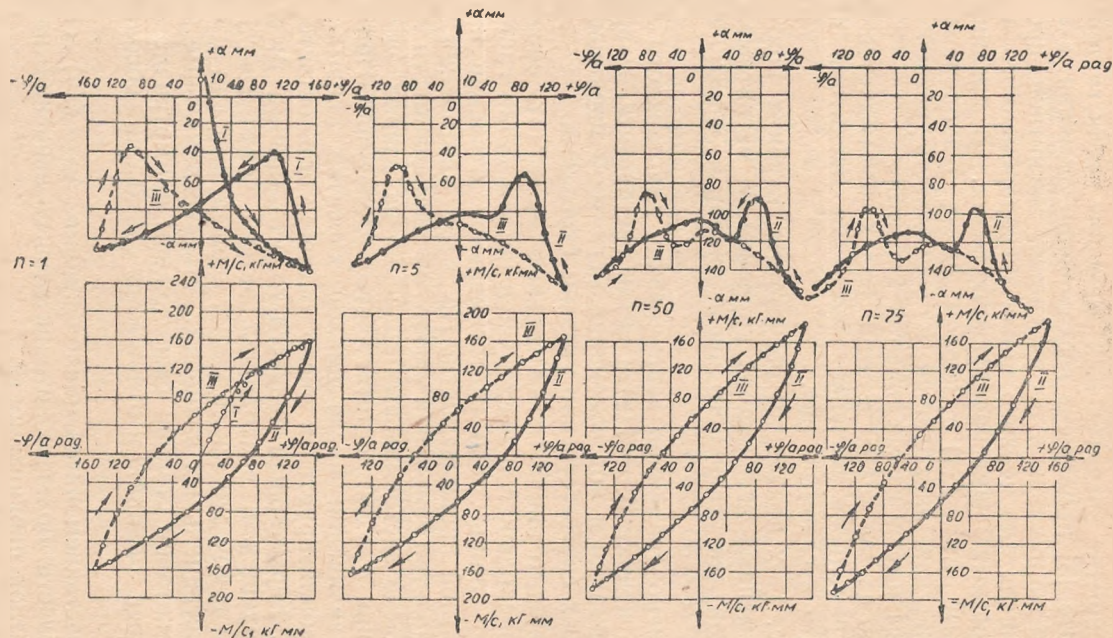


Рис. 1. Петли гистерезиса и кривые изменения магнитной проницаемости никеля при повторных знакопеременных деформациях для различных циклов ($n=1$, $n=50$, $n=75$).

числа циклов не нарушается расположение первых экстремальных значений при первом цикле. Первые экстремальные значения изменяются лишь по абсолютной величине, непрерывно смещаясь в область больших отрицательных значений изменения магнитной проницаемости.

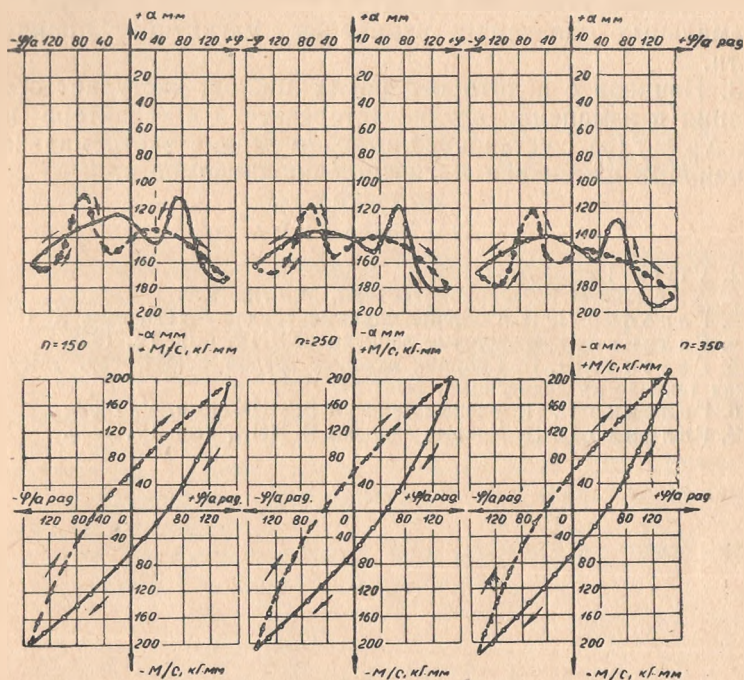


Рис. 2. Петли гистерезиса и кривые изменения магнитной проницаемости никеля при повторных знакопеременных деформациях для различных циклов ($n=150$, $n=250$, $n=350$).

Характер изменения кривых $\Delta\mu = f(\varphi)$ тесно связан с изменением петель гистерезиса. При возрастании числа циклов петли гистерезиса вытягиваются в длину и одновременно испытывают поворот относительно начала координат против часовой стрелки. Этот поворот и вытянутость петли характерно выражены при сравнении петель при первом цикле $n = 1$ и $n = 350$.

Такой поворот петли и ее вытянутость происходит гораздо быстрее в первых циклах знакопеременного нагружения. При увеличении же числа циклов, начиная с $n > 350$, размеры петли и ее поворот почти не меняются. Стабилизация размеров петли гистерезиса, в свою очередь, сказывается и на установившемся характере кривых $\Delta\mu = f(\varphi)$.

Выводы

1. С возрастанием числа циклов характер кривых $\Delta\mu = f(\varphi)$ в средних полях при данной амплитуде угла закручивания изменяется.

2. В средних полях на кривых $\Delta\mu = f(\varphi)$ с увеличением числа циклов может наблюдаться от двух до четырех экстремальных значений изменения магнитной проницаемости.

3. Начиная с некоторого числа циклов, наступает стабилизация в изменении петли гистерезиса и в характере кривых $\Delta\mu = f(\varphi)$ с установившимися четырьмя экстремальными значениями изменения магнитной проницаемости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Villari Pgg. Ann. 126, 87, 1865.
 2. Акулов Н. С. Ферромагнетизм, М.—Л., 1939.
 3. Галенко П. П., Сборник научных трудов БЛТИ, вып. X, 1957.
 4. Галенко П. П. Ученые записки БГИНХ, вып. IV, 1958.
 5. Галенко П. П. Сборник научных трудов БЛТИ, сер. „Механическая технология древесины“, вып. XI, 1959.
 6. Галенко П. П. Ученые записки БГИНХ, вып. V, 1959.
 7. Галенко П. П. Ученые записки БГИНХ, вып. IV, 1958.
-