

*П. П. ГАЛЕНКО, М. М. СВИРЩЕВСКАЯ*

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАКАЛКИ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СТАЛИ ШХ-6**

Вследствие термической обработки стали ШХ-6 происходит изменение ее структуры. Это обуславливает изменение физических и механических свойств стали. Для получения стали ШХ-6 с заданными свойствами необходимо строгое соблюдение соответствующих режимов термообработки. Однако в практике массового производства отдельных деталей неизбежны отклонения от заданных режимов. Незначительный перегрев или недогрев деталей из указанной марки стали нельзя установить путем замера твердости вследствие того, что твердость таких деталей при нарушении режимов закалки практически не меняется, в то время как другие механические свойства претерпевают существенные изменения. Кроме того, метод контроля качества термообработки деталей подшипника путем замера твердости не может быть применен ко всем деталям в силу нарушения целостности поверхности детали.

В последние годы в нашей промышленности нашли широкое применение неразрушающие методы контроля. К их числу относятся магнитные и электромагнитные методы, обладающие высокой чувствительностью и применимые для контроля качества термообработки всех стальных деталей на различных этапах технологического процесса их изготовления.

В настоящей работе приведены данные экспериментальных исследований влияния температуры закалки на магнитные свойства стали ШХ-6 в постоянном и переменном намагничивающих полях.

### **Исследование влияния температуры закалки на магнитные свойства стали ШХ-6 в постоянном магнитном поле**

Образцы, взятые для исследования, имели цилиндрическую форму с таким отношением длины к диаметру, что размагничивающий фактор не учитывался. Нагрев образцов производился в вакууме без заметного окисления их поверхности.

На баллистической установке снимались коммутационные кривые намагничивания.

Оптимальной температурой закалки стали ШХ-6 для деталей подшипника, как известно, является  $830^{\circ}\text{C}$ . В нашей работе исследовались кривые намагничивания для образцов из исследуемой стали, закаленных выше и ниже оптимальной температуры, а именно при температурах  $720$ ,  $770$ ,  $800$ ,  $830$ ,  $860$ ,  $900$  и  $1000^{\circ}\text{C}$ .

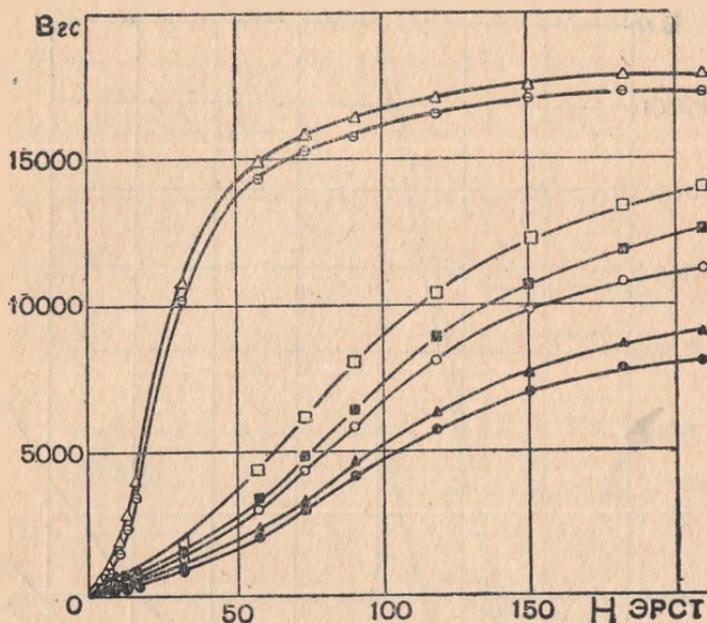


Рис. 1. Кривые намагничивания  $B=f(H)$  для образцов, отожженных и закаленных при разных температурах:  
 $\ominus$  —  $600^{\circ}\text{C}$ ;  $\triangle$  —  $720^{\circ}\text{C}$ ;  $\square$  —  $800^{\circ}\text{C}$ ;  $\blacksquare$  —  $830^{\circ}\text{C}$ ;  $\circ$  —  $860^{\circ}\text{C}$ ;  
 $\blacktriangledown$  —  $920^{\circ}\text{C}$ ;  $\bullet$  —  $1000^{\circ}\text{C}$

Для закалки до каждой температуры бралось по 5 образцов. Они помещались в вакуумную трубку и нагревались до заданной температуры с последующей выдержкой при этой температуре в течение 20 мин., а затем охлаждались в масле при температуре  $20^{\circ}\text{C}$ .

За исходные магнитные свойства для исследуемой стали принимались свойства однородных образцов, подвергнутых отжигу в вакууме при температуре  $600^{\circ}\text{C}$  в течение 2 час., с последующим охлаждением до комнатной температуры.

Как показывает анализ кривых намагничивания  $B=f_T(H)$  для образцов, отожженных и закаленных при разных температурах (рис. 1), и кривых  $B=f_T(H)$  для области слабых полей (рис. 2), магнитные свойства стали ШХ-6 чувствитель-

ны к изменению температуры заковки. Начиная с температуры заковки  $730^{\circ}\text{C}$ , магнитная индукция стали ШХ-6 во всех исследованных полях меньше по отношению к отожженным образцам. Для температур заковки  $T_{\text{зак}} < 730^{\circ}\text{C}$  наблюдается возрастание магнитной индукции образцов стали ШХ-6 по сравнению с отожженными образцами. Это говорит о том, что при температурах  $T_{\text{зак}} < 730^{\circ}\text{C}$  по существу идет не процесс заковки, а процесс высокотемпературного отжига со

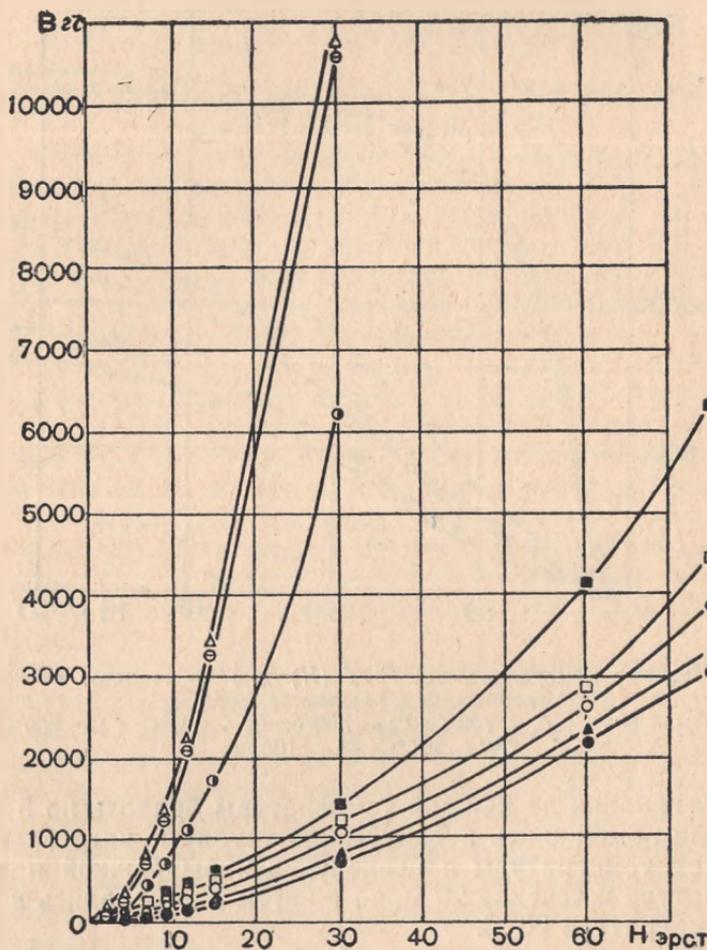


Рис. 2. Кривые намагничивания  $B=f_T(H)$  для области слабых полей:  $\bullet$ — $770^{\circ}\text{C}$ ;  $\blacksquare$ — $800^{\circ}\text{C}$ ;  $\square$ — $830^{\circ}\text{C}$ ; остальные обозначения те же

снятием внутренних напряжений в образце. Для всех кривых  $B=f_T(H)$  характерно снижение магнитной индукции образца с повышением температуры заковки. Интенсивное изменение магнитной индукции имеет место при температурах,

близких к  $830^{\circ}\text{C}$ . Для температур закалки выше  $920^{\circ}\text{C}$ , магнитная индукция изменяется медленнее.

По кривым намагничивания  $B=f_T(H)$  (рис. 1, 2) еще трудно установить интервал полей  $H$ , в которых наблюдаются наибольшие изменения магнитных свойств образцов по отношению к образцам, закаленным при оптимальной температуре. Кривые  $\Delta B=f_T(H)$  (рис. 3) характеризуют абсолютное изменение магнитной индукции образцов при данной температуре закалки в разных намагничивающих полях по отношению к индукции образца, закаленного при оптималь-

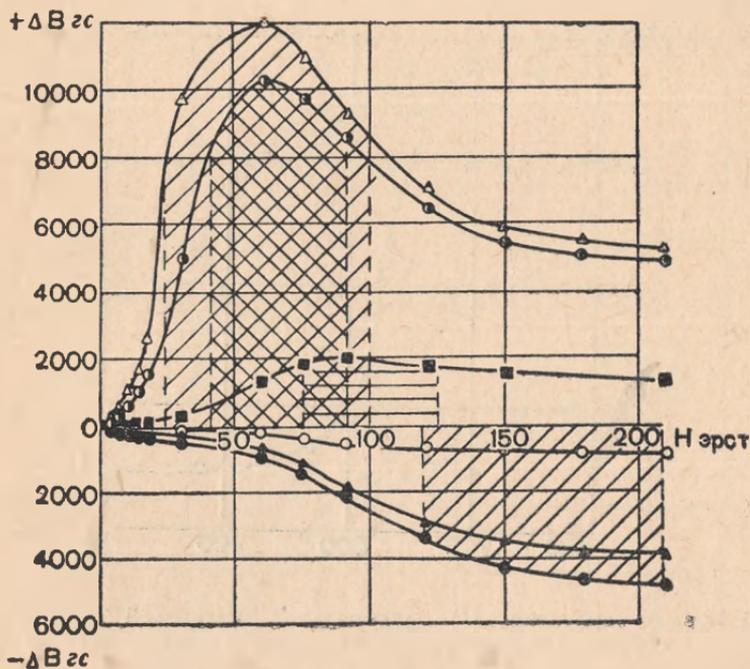


Рис. 3. Кривые  $\Delta B=f_T(H)$ , характеризующие абсолютное изменение магнитной индукции образцов при данной температуре закалки в разных намагничивающих полях по отношению к индукции образца, закаленного при оптимальной температуре. Обозначения те же

ной температуре, т. е. при  $830^{\circ}\text{C}$ . На кривых  $\Delta B=f_T(H)$  для температур закалки ниже оптимальной  $T_{\text{зак}} < 830^{\circ}\text{C}$  наблюдается одно экстремальное значение изменения приращения магнитной индукции образца. Экстремум тем более выражен, чем ниже температура закалки по отношению к оптимальной температуре.

Для температур закалки  $T_{\text{зак}} > 830^{\circ}\text{C}$  на кривых  $\Delta B=f_T(H)$  не наблюдается экстремальных значений изменения приращения магнитной индукции образца с полем  $H$ . Наибольшее изменение для данной температуры закалки приходится на поля, которые больше 100 эрст.

Анализируя кривые  $\Delta B = f_T(H)$ , можно сделать следующий вывод. Недогрев образцов, т. е. когда  $T_{\text{зак}} < 830^\circ\text{C}$ , характеризуется одним типом кривых  $\Delta B = f(H)$  с выраженным экстремальным значением. Наибольшее изменение магнитных свойств приходится на интервал полей  $30 < H < 100$  эрст.

Перегрев образцов, т. е. когда  $T_{\text{зак}} > 830^\circ\text{C}$ , характеризуется вторым типом кривых  $\Delta B = f_T(H)$ , не имеющих экстремальных значений. Наибольшее значение магнитных свойств сдвинуто в область больших намагничивающих по-

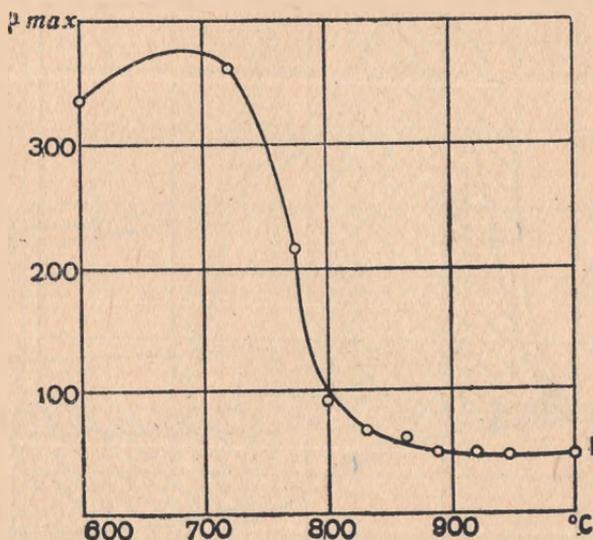


Рис. 4. Кривая изменения ( $I$ ) максимальной магнитной проницаемости образцов в зависимости от температуры закалки

лей. Заштрихованные области на рис. 3 показывают интервал полей  $H$ , для которых характерны наибольшие различия магнитной индукции образцов с недогревом и образцов с перегревом при закалке.

Указанные интервалы полей могут быть использованы при магнитном контроле качества термообработки деталей из стали ШХ-6.

На рис. 4 приведена кривая изменения максимальной магнитной проницаемости образцов в зависимости от температуры закалки. Из этой кривой видно, что максимальная проницаемость в районе оптимальной температуры закалки практически не меняется. Следовательно, максимальная магнитная проницаемость не может быть положена в основу действия магнитных приборов для контроля качества закалки деталей из стали ШХ-6.

## Исследование влияния температуры закалки на магнитные свойства стали ШХ-6 в переменном магнитном поле

В условиях промышленных предприятий наиболее удобно для осуществления магнитных и электромагнитных методов контроля качества термообработок деталей пользоваться переменным током технической частоты. В связи с этим нами проведены исследования влияния температуры закалки на ход кривых намагничивания в переменном магнитном поле.

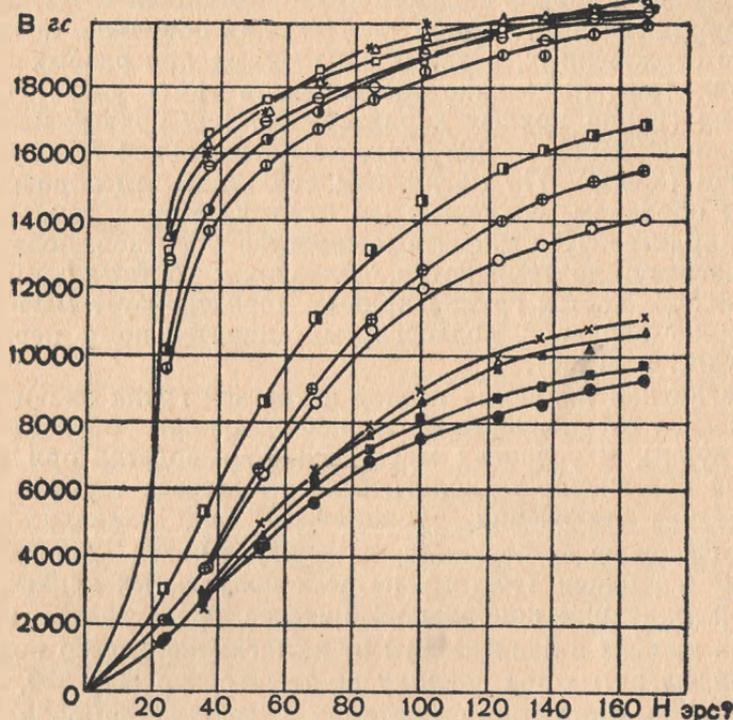


Рис. 5. Кривые намагничивания  $B = f(H)$  для образцов, предварительно отожженных, а затем закаленных при разных температурах:  $\ominus$  — нагрев до  $600^{\circ}\text{C}$  (охлаждение вместе с печью);  $*$  — до  $690^{\circ}\text{C}$  (охлаждение в масле);  $\triangle$  — до  $720^{\circ}\text{C}$ ;  $\square$  — до  $750^{\circ}\text{C}$ ;  $\bullet$  — до  $770^{\circ}\text{C}$ ;  $\circ$  — до  $780^{\circ}\text{C}$ ;  $\blacksquare$  — до  $800^{\circ}\text{C}$ ;  $\oplus$  — до  $830^{\circ}\text{C}$ ;  $\circ$  — закалка при  $860^{\circ}\text{C}$  (в масле);  $\times$  — при  $890^{\circ}\text{C}$ ;  $\blacktriangle$  — при  $920^{\circ}\text{C}$ ;  $\blacksquare$  — при  $950^{\circ}\text{C}$ ;  $\bullet$  — при  $1000^{\circ}\text{C}$

Образцы, взятые для исследования, как и в первом случае, имели цилиндрическую форму. Длина образцов 150 мм, диаметр 3 мм. При таком выборе размеров образцов в переменном поле  $f=50$  гц сталь ШХ-6 промагничивается на глубину 2,5 мм, т. е. образцы промагничиваются по всему сечению. Величина размагничивающего фактора, равного (0,02), не учитывается.

Исследованию подвергались и те образцы, для которых снимались кривые намагничивания на баллистической установке. Перед снятием кривых намагничивания исследуемые образцы предварительно размагничивались. Кривые намагничивания снимались на ферротестере. По оси абсцисс на приборе получалось отклонение луча, пропорциональное напряженности намагничивающего поля, по оси ординат—отклонение луча, пропорциональное величине магнитной индукции образца. Для определения абсолютных значений напряженности намагничивающего поля, а также магнитной индукции испытуемых образцов прибор снабжен калибровочными катушками.

Кривые намагничивания  $B=f(H)$  для образцов, предварительно отожженных, а затем закаленных при разных температурах (рис. 5), можно разделить на три группы. Самая верхняя группа кривых характеризует ход кривых намагничивания образцов, не догретых до оптимальной температуры закалки ( $830^{\circ}\text{C}$ ). По магнитным свойствам эти образцы подобны образцам, подвергнутым отжигу. Вторая группа кривых характеризует магнитные свойства образцов, подвергнутых нагреву до температур, близких к оптимальным,—до  $800$ — $860^{\circ}\text{C}$ . Третья группа кривых характеризует магнитную индукцию образцов, подвергнутых значительному перегреву (до  $890^{\circ}\text{C}$  и выше).

Магнитная индукция первой и третьей групп значительно отличается от величины магнитной индукции образцов второй группы. В условиях массового производства при современной постановке технологического процесса термообработки деталей отклонения температуры под закалку на  $60^{\circ}$  практически не встречаются, а недогрев части деталей на  $20$ — $30^{\circ}$  возможен. Поэтому из всех полученных кривых магнитной индукции наибольший интерес представляет вторая группа кривых в зависимости от намагничивающего поля образцов, нагретых под закалку до температур  $800$ ,  $830$ ,  $860^{\circ}\text{C}$ .

Приборы магнитного контроля качества термообработки должны выявить различие образцов, закаленных при температуре  $830^{\circ}$ , от образцов, закаленных при температурах  $800$  и  $860^{\circ}\text{C}$ . С этой целью нами определены кривые  $\Delta B=f_{\tau}(H)$ , представляющие собой разность магнитной индукции образцов, закаленных при температурах  $800$ ,  $770$ ,  $750$ ,  $860$ ,  $890$ ,  $920$ ,  $950$ ,  $1000^{\circ}\text{C}$ , и разность магнитной индукции образцов, закаленных при оптимальной температуре для всех значений намагничивающего поля в исследованном интервале. Анализ хода полученных кривых (рис. 6) показал, что кривые, характеризующие разницу величины магнитной индукции образцов, не закаленных вследствие недогрева, имеют явно выраженный максимум в поле  $25$ — $50$  эрст. При возрастании поля  $50$ — $100$  эрст. происходит быстрый спад этих кривых, а затем при

дальнейшем увеличении поля их изменение мало заметно. На кривой, характеризующей разность магнитной индукции образцов, нагретых под закалку до температуры 800 и 830°C, хотя и заметен максимум, однако изменения  $\Delta B$  для различных полей в этом случае не так значительны, как для образцов первой группы, причем в полях свыше 125 эрст.  $\Delta B$  практически не изменяется.

Совершенно иной характер имеют кривые, выражающие разницу магнитных индукций образцов, перегретых под закалку, и образцов, нагретых до 830°C.

Различия между магнитной индукцией перегретых образцов и образцов, нагретых с оптимальной температуры под закалку, становятся заметными в полях больше 50 эрст. Кривые  $\Delta B = f_T(H)$  для образцов, нагретых до температуры 890°C и выше, в полях 50—125 эрст. имеют монотонный ход, и  $\Delta B$  по абсолютному значению возрастает до величины более 4000 гс, причем большему перегреву соответствует большее различие. В полях свыше 125 эрст. величина  $\Delta B$  практически не меняется и для каждого сорта образцов имеет свою величину.

На кривых  $\Delta B = f_T(H)$  разность магнитной индукции образцов, закаленных при 830°C и 860°C, становится заметной в полях свыше 50 эрст., затем до поля порядка 125 эрст. она линейно возрастает и в полях свыше 125 эрст. почти не изменяется.

На основании данных проведенных экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Качество закалки деталей, изготавливаемых из стали ШХ-6, можно контролировать путем сравнения магнитной

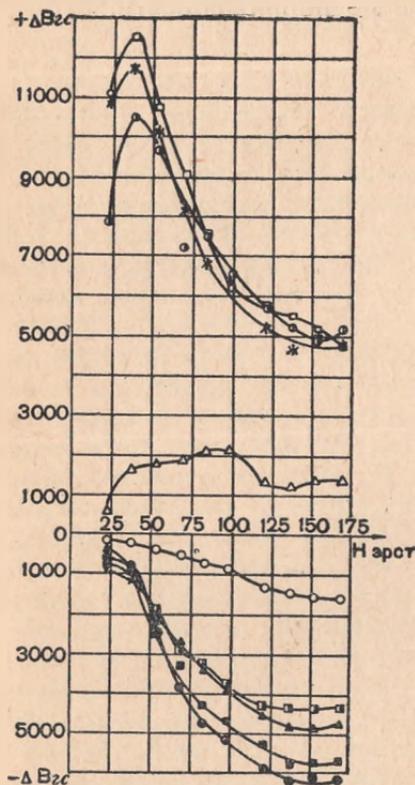


Рис. 6. Кривые, характеризующие разницу величины магнитной индукции закаленных образцов по отношению к индукции образцов, закаленных при оптимальной температуре:  $\Delta$  — 800°C;  $\blacksquare$  — 890°C; остальные обозначения те же.

индукции образцов, закаленных при оптимальной температуре, и образцов контролируемых.

2. Для выявления деталей, нагретых под закалку до температуры ниже  $830^{\circ}\text{C}$ , следует применять намагничивающие поля 30—50 эрст.

3. Для выявления деталей, нагретых под закалку до температур выше  $830^{\circ}\text{C}$ , следует применять намагничивающие поля более 100 эрст.

4. В тех магнитных приборах, которые предназначены для выявления как недогрева, так и перегрева под закалку, целесообразно применять намагничивающие поля порядка 125 эрст. и выше, стабилизированные по напряженности.

---