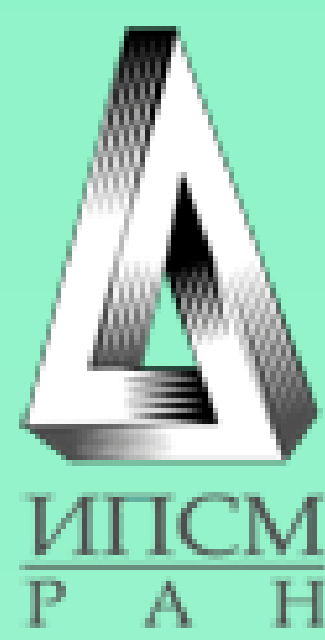


ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ КРАТКОВРЕМЕННОГО НАГРЕВА ПЕРЕД ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ FE-30CR-16CO.



Устюхин А.С., Зеленский В.А., Анкудинов А.Б., Миляев И.М.

e-mail: fcbneo@yandex.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, Москва, Россия



ФТПМ-2021

ИМЕТ РАН

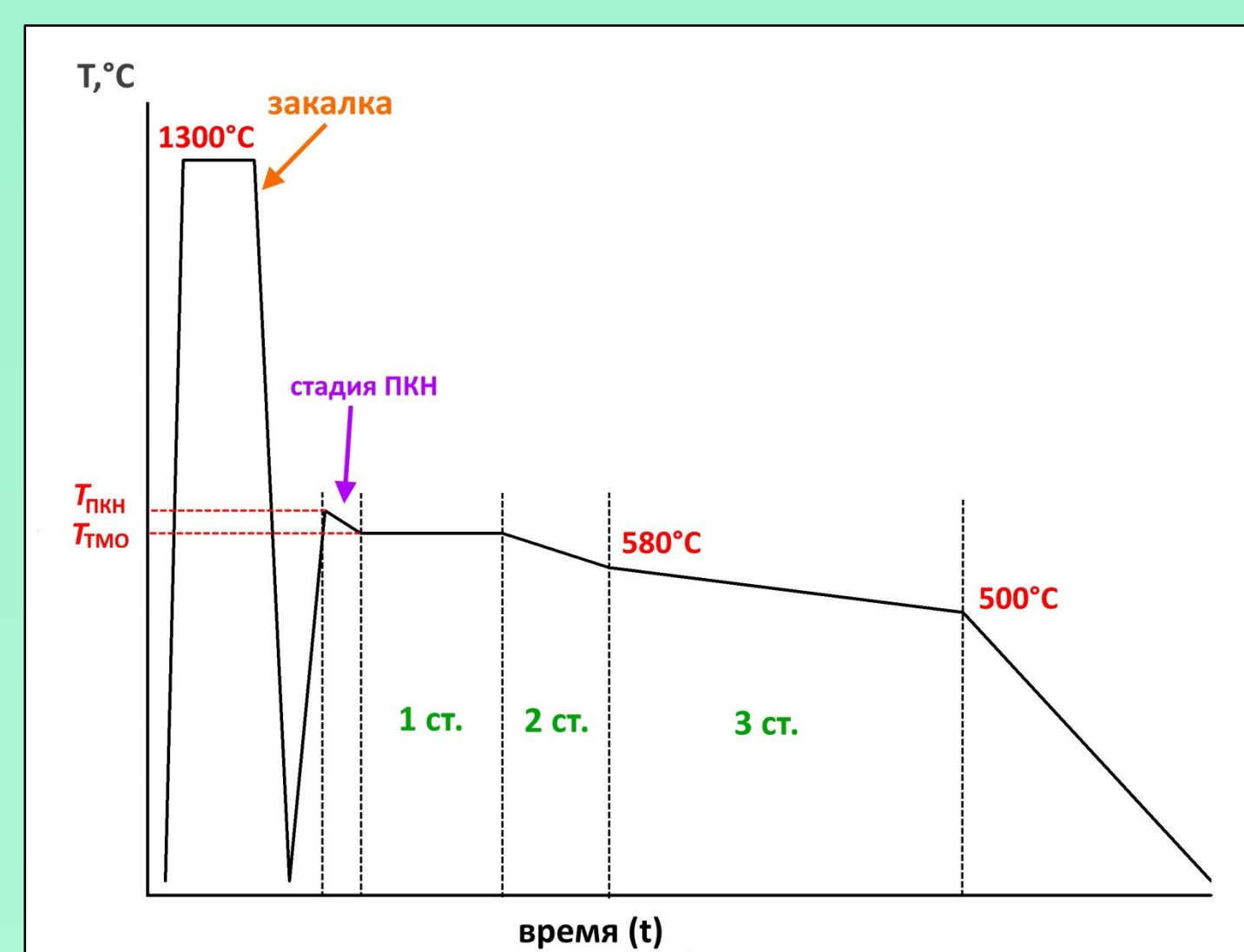
Введение.

Порошковый метод получения магнитотвёрдых материалов системы Fe-Cr-Co для постоянных магнитов имеет ряд преимуществ по сравнению с технологией литья особенно в мелкосерийном производстве, такие как: возможность прецизионного регулирования химического состава, повышенный коэффициент использования металла, снижение затрат на механическую обработку материала. Сплавы системы Fe-Cr-Co чувствительны практически ко всем параметрам термической обработки (ТО), поэтому стремление к созданию идентичных условий термообработки для всех заготовок является важной задачей. В реальных производственных условиях используются печи с большим объемом камеры для одновременной обработки большого количества заготовок. Нагрев таких печей происходит неравномерно, в результате чего на начальной стадии при прогреве печи возникает градиент температуры по объему и вследствие этого заготовки магнитов внутри садки оказываются при пониженной температуре по сравнению с остальными заготовками. Одним из способов решения данной проблемы на производстве является предварительный кратковременный нагрев (ПКН) заготовок выше температуры начала обработки ($T_{\text{ТМО}}$) с последующим быстрым охлаждением уже до требуемой температуры.

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование режимов ПКН перед ТМО магнитотвердых сплавов Fe-30Cr-16Co и Fe-30Cr-16Co-1Ti (вес. %) (далее **X30K16** и **X30K16T**, соответственно) и их влияние на магнитные свойства.

Получение образцов и методика исследования.

- Смешение шихт в турбулентном смесителе,
- Холодное прессование (получали цилиндрические образцы с диаметром 13,6 и относительной плотностью ~80%),
- Спекание в вакууме (температура 1350°C, время выдержки - 2,5 ч),
- Закалка в воде (температура нагрева под закалку - 1300°C)
- Термообработка с ПКН (см. схему на рис.1)
- Измерение магнитных гистерезисных свойств (на гистерезисграфе Permagraph L)



Параметры ТО

- 1 ст. $t_{\text{ТМО}} = 40$ мин.
- 2 ст. $v_{\text{охл}} = 20$ °C/ч
- 3 ст. $v_{\text{охл}} = 8$ °C/ч

Рис. 1. Схема термообработки Fe-Cr-Co сплавов

Результаты измерения магнитных свойств

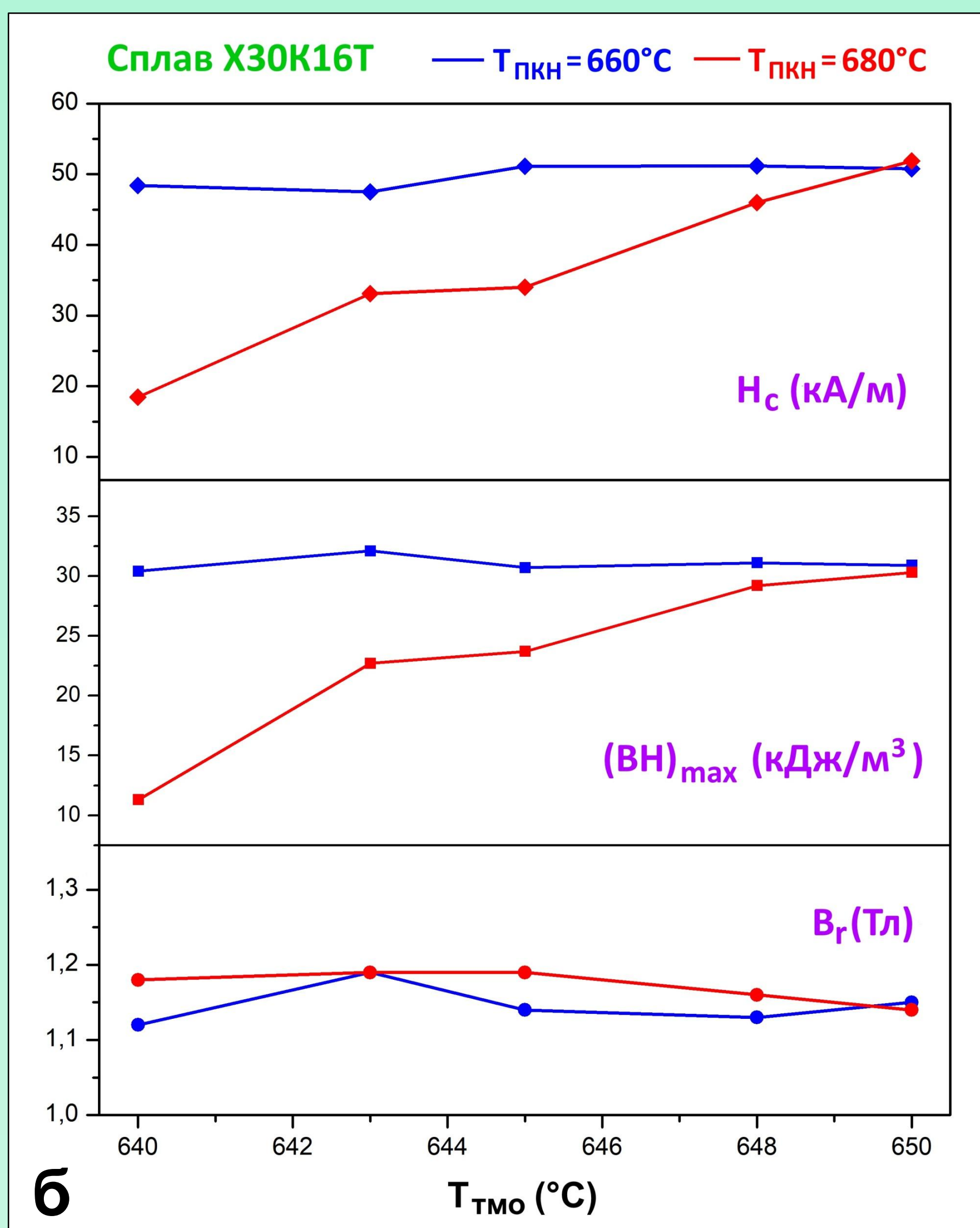
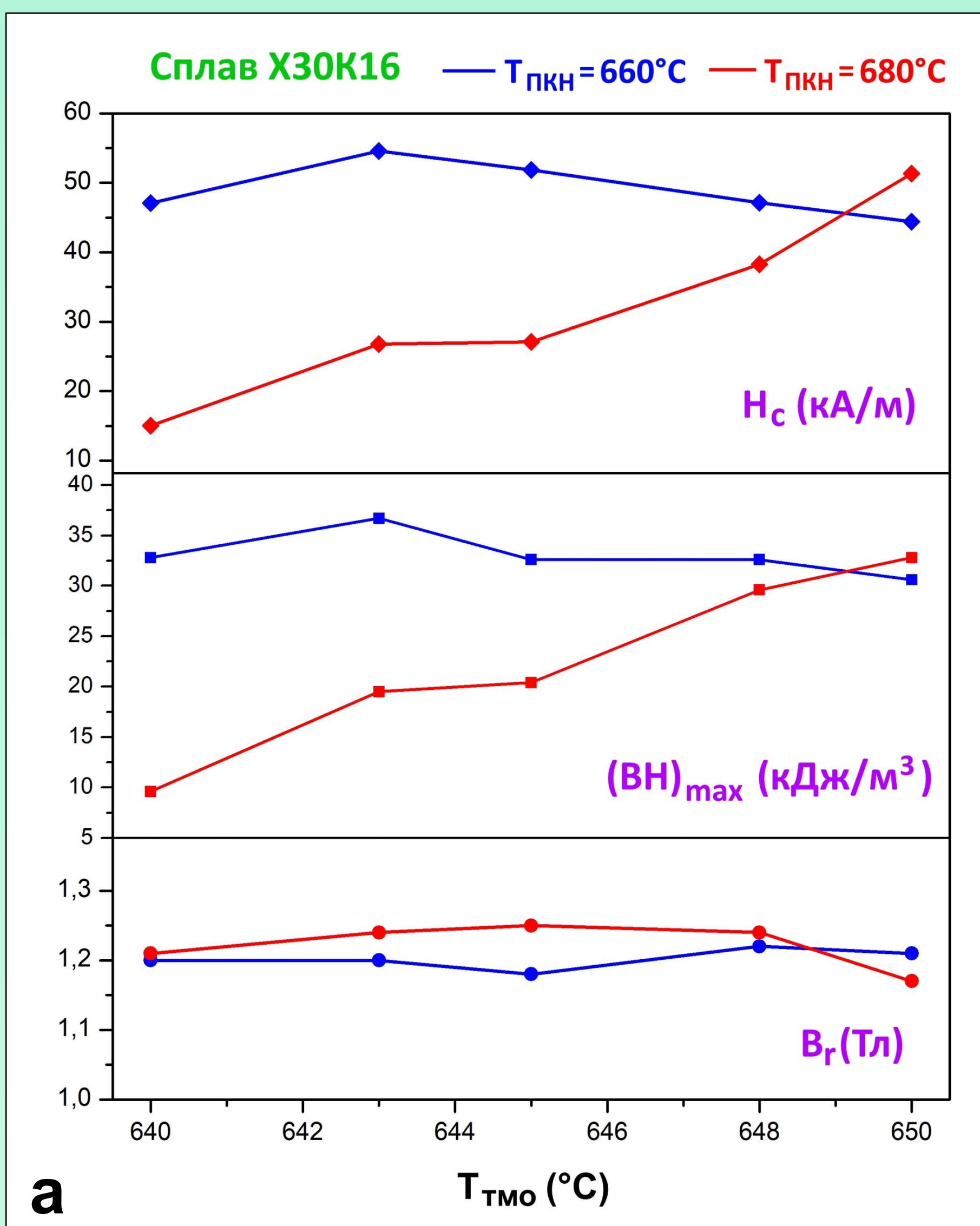


Рис. 2. Результаты измерения магнитных свойств сплавов X30K16 (а) и X30K16T (б) для режимов ПКН с температурами 660 и 680°C в интервале $T_{\text{ТМО}} = 640-650$ °C.

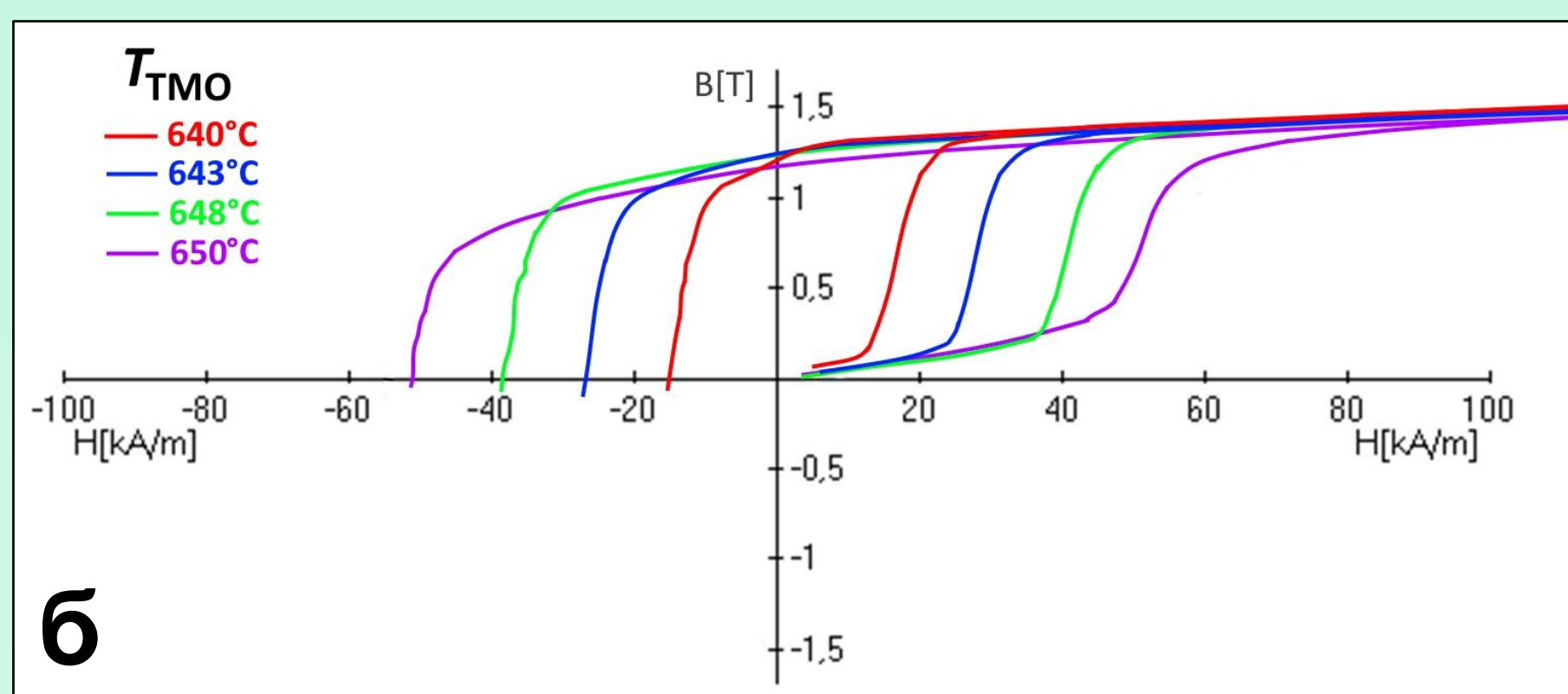
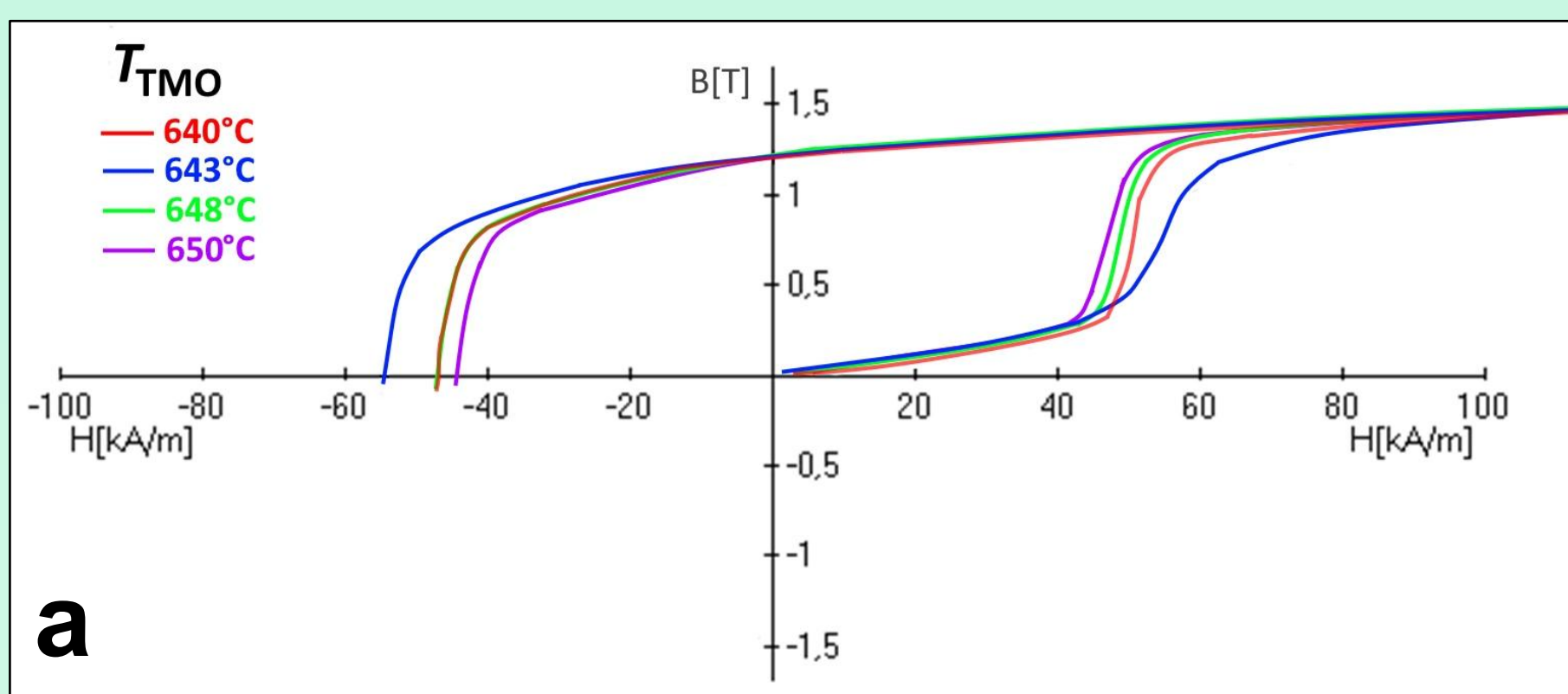


Рис. 3. Кривые гистерезиса образцов сплава X30K16, обработанных по режимам ПКН с температурами 660 (а) и 680°C (б) в интервале $T_{\text{ТМО}} = 640-650$ °C.

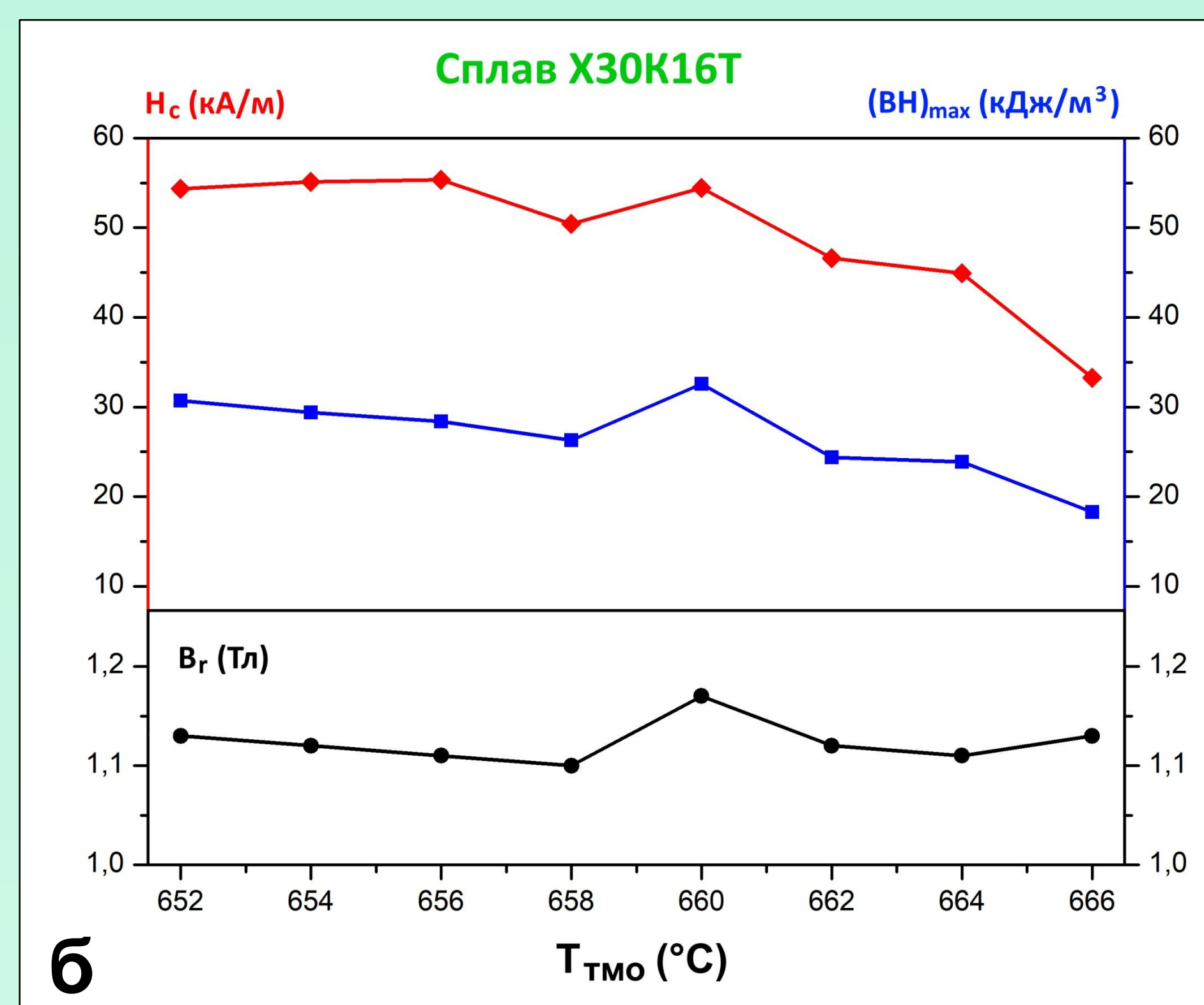
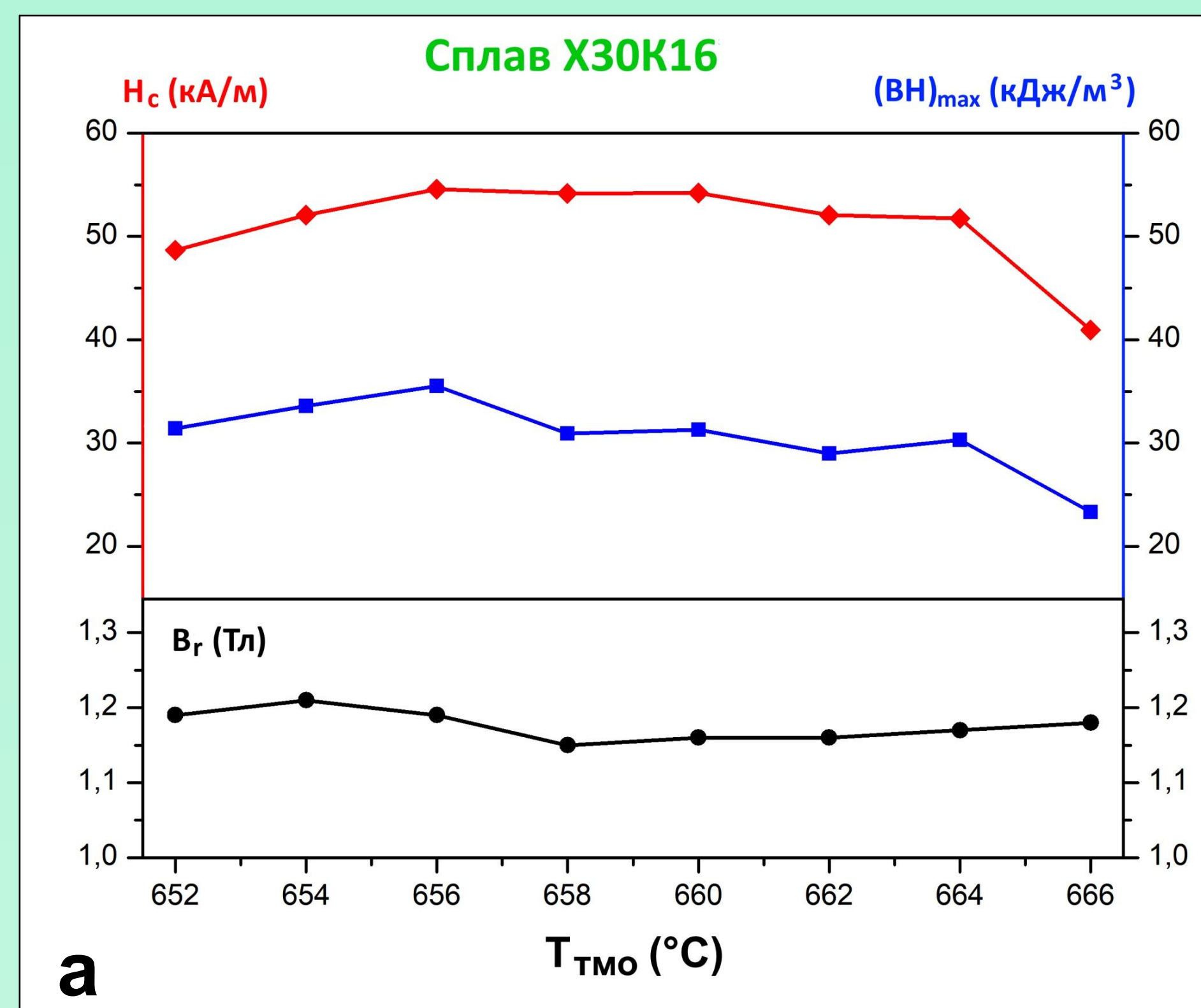


Рис. 4. Результаты измерения магнитных свойств сплавов X30K16 (а) и X30K16T (б) для режима ПКН с температурой 680°C в интервале $T_{\text{ТМО}} = 652-666$ °C.

Заключение.

□Отработаны режимы термической обработки порошковых сплавов X30K16, моделирующие реальные производственные условия. Согласно результатам исследования магнитных свойств, сплавы X30K16 и X30K16T оказались чувствительными к значению температуры ПКН.

□Образцы, предварительно нагретые до 660°C, имеют высокие показатели магнитных свойств в интервале $T_{\text{ТМО}} 640-650$ °C (рис. 2).

□После ПКН до 680°C высоких показателей магнитных характеристик удалось добиться в интервале $T_{\text{ТМО}} 650-665$ °C (рис. 4). В интервале температур 640-650°C значения коэрцитивной силы H_c с увеличением разницы между температурами ПКН и $T_{\text{ТМО}}$ резко снижаются и, как следствие, снижаются также значения $(BH)_{\text{max}}$. Данный эффект требует дополнительных исследований, однако по форме кривых гистерезиса (рис. 3) можно предположить, что снижение магнитных свойств не связано с выделениями немагнитной σ -фазы в ходе обработки, поскольку все образцы имеют близкие показатели намагниченности насыщения.

□Порошковые сплавы X30K16 и X30K16T обладают необходимым уровнем магнитных свойств, сопоставимым с характеристиками аналогов, получаемых по литой технологии. Например, магнитные свойства высоко-кобальтового сплава 30X23KA (ГОСТ 24897-81): $B_r = 1,0$ Тл, $H_c = 55$ кА/м и $(BH)_{\text{max}} = 30$ кДж/м³.

□Полученные результаты подчеркивают важность правильного выбора и контроля параметров ТО сплавов системы Fe-Cr-Co.