

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ ТРУБНОЙ СТАЛИ

Н.В. Уртцев^{1,2,3*}, П.А. Ухина¹, М.Л. Лобанов¹, С.И. Платов², А.В. Шмаков³

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

²Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия

³ООО «ИТЦ «Аусферр», г. Магнитогорск, Россия

*n.urtsev@ausferr.ru

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение бесперебойной работы магистральных трубопроводов, предназначенных для транспортировки нефти и газа, зачастую эксплуатируемых в сложных климатических условиях, является критически важной задачей для поддержания безопасности и стабильности функционирования энергетической инфраструктуры Российской Федерации. Для решения данной задачи при производстве трубопроводов используются листы низкоуглеродистых низколегированных сталей, повышенная конструкционная прочность которых достигается за счет применения контролируемой термомеханической обработки (КТМО) на толстолистовых станах (ТЛС) горячей прокатки. Внедряемые в условиях металлургического производства ИТ решения позволяют осуществлять управление структурой стальной продукции, во многом определяющей уровень ее механических свойств. Корректность работы таких решений зависит от состава и точности используемых исходных данных, включающих в себя теплофизические параметры сталей.

Цель работы – определение значений критических температур, температурных зависимостей теплоемкостей основных фаз, а также величин тепловых эффектов магнитных и фазовых превращений для низкоуглеродистой трубной стали.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и дилатометрического анализа (ДА) с использованием прибора синхронного термического анализа Netzsch STA 449C Jupiter и закалочного дилатометра Linseis L78 R. I. T. А исследованы образцы трубной стали типа 05Г2МБ, отобранные от листов, произведенных на ТЛС горячей прокатки. В качестве эталонного материала, характеризующегося двумя практически обособленными превращениями при нагреве до температуры 1250 °С: магнитным и $\alpha(\beta) \rightarrow \gamma$ превращениями, было использовано армко-железо.

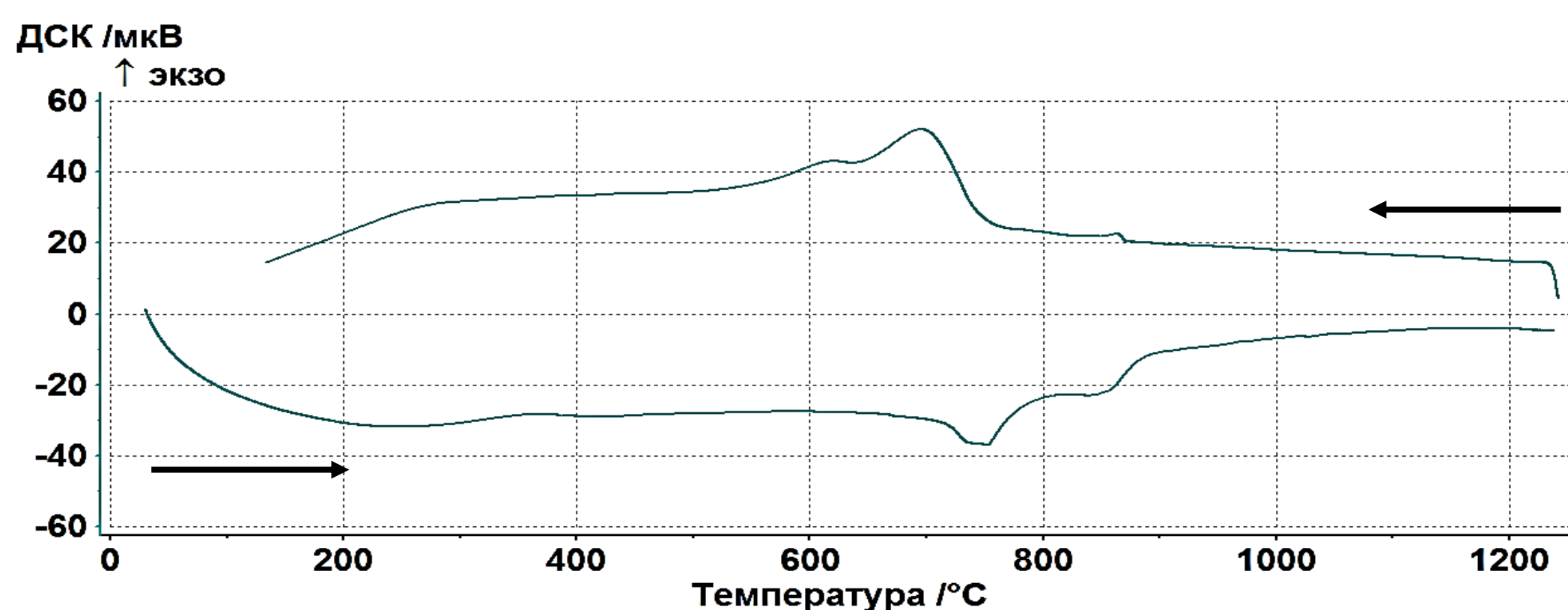


РИС. 1 ДСК кривые, зарегистрированные при нагреве и охлаждении стали 05Г2МБ

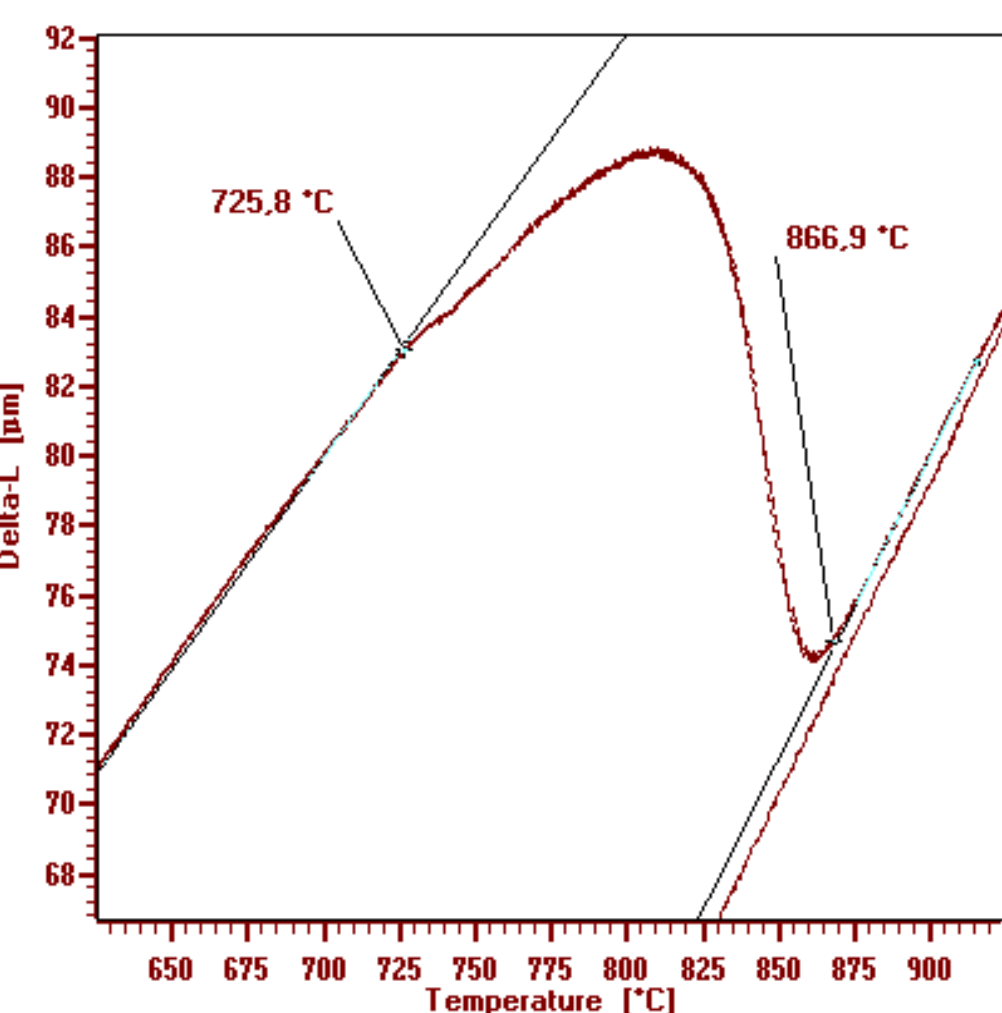


РИС. 2 Определение критических температур при нагреве стали 05Г2МБ графическим методом отрыва касательной по дилатометрическим данным

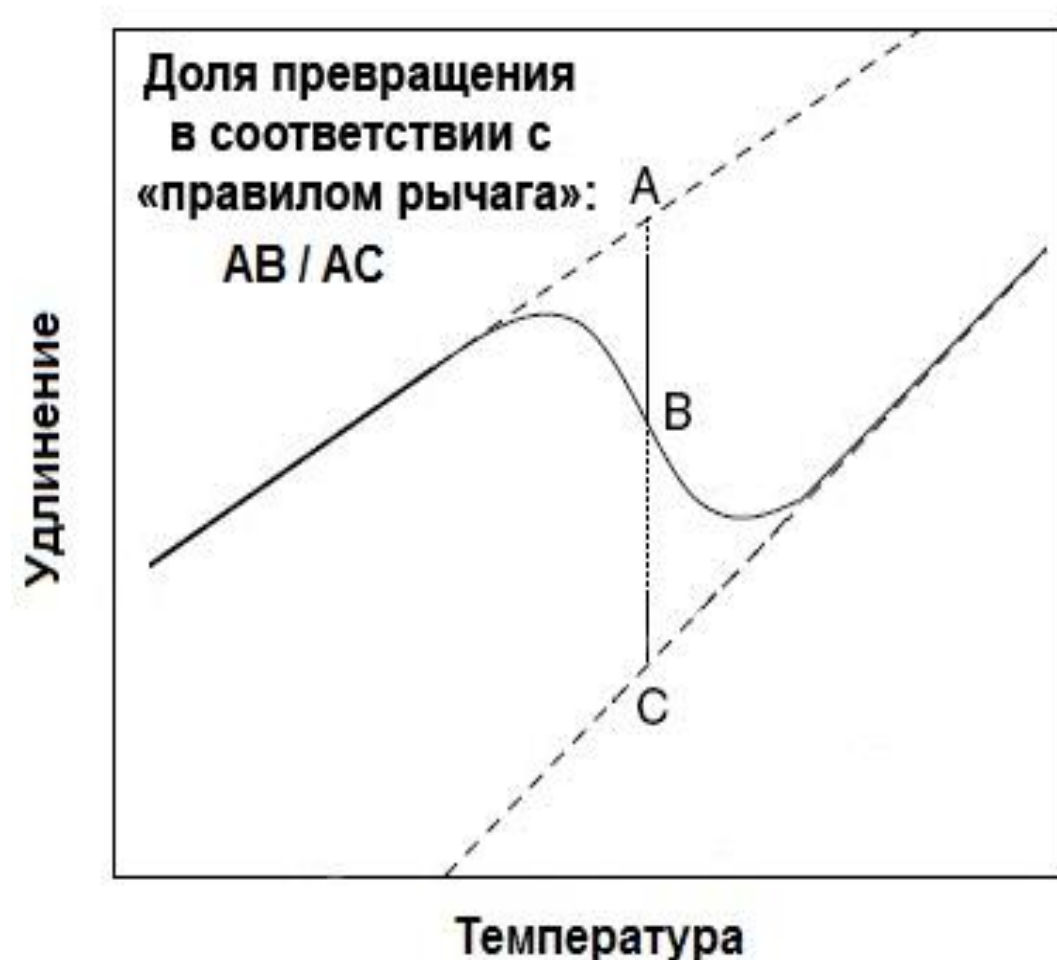


РИС. 3 Расчет доли аустенита, образующегося при нагреве, по дилатометрическим данным

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С использованием ПО Thermo-Calk-3.01 были рассчитаны значения температур A_3 и A_1 [°C] для химического состава исследуемой стали. Кроме того, значения критических температур были определены экспериментально с использованием ДСК и ДА для пяти образцов исследуемой стали. Следует отметить близость значений одних и тех же критических температур, измеренных в одинаковых условиях, и значительные расхождения в значениях критических температур, измеренных разными способами.

Номер образца	ДСК, Н по max		ДСК, О		ДА, Н			ДА, О		Расчёт	
	A ₂	A ₃	AR ₃	AR ₁	AC ₁	AC ₃	AC ₃	AR ₃	AR ₁	A ₁	A ₃
1	749	842	783	565	727	835	854	665	484	660	830
2	749	843	772	546	723	834	852	683	530		
3	750	841	778	547	722	820	833	681	535		
4	751	844	773	552	726	825	844	634	488		
5	748	841	781	553	723	818	849	668	495		

Н – при нагреве, О – при охлаждении;
ОК и ПК – методы отрыва касательной и пересечения касательных соответственно.

Зависимости теплоемкостей α - и γ -фаз от температуры стали 05Г2МБ были аппроксимированы линейными регрессионными уравнениями с усредненными коэффициентами по пяти наборам значений для температурных интервалов 200–400 °С (1) и 950–1050 °С (2):

$$C_p^\alpha = 0.0003822t + 0,4737, \quad (1)$$

$$C_p^\gamma = 0.0000603t + 0,5208. \quad (2)$$

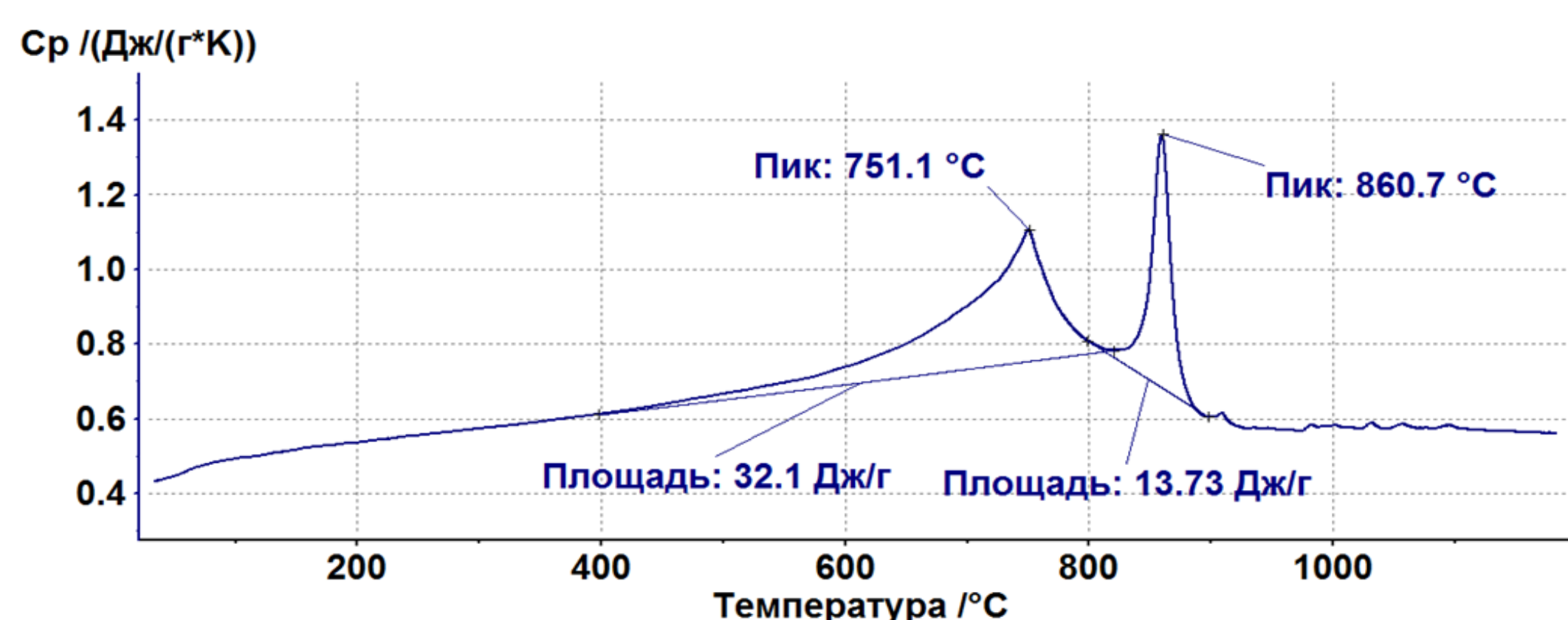


РИС. 4 Теплоемкость стали 05Г2МБ при повторном нагреве

С учетом построенной базовой линии средние значения тепловых эффектов фазовых превращений при нагреве пяти образцов стали 05Г2МБ составили: 36,5 Дж/г для магнитного превращения, 17,8 Дж/г для $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения.

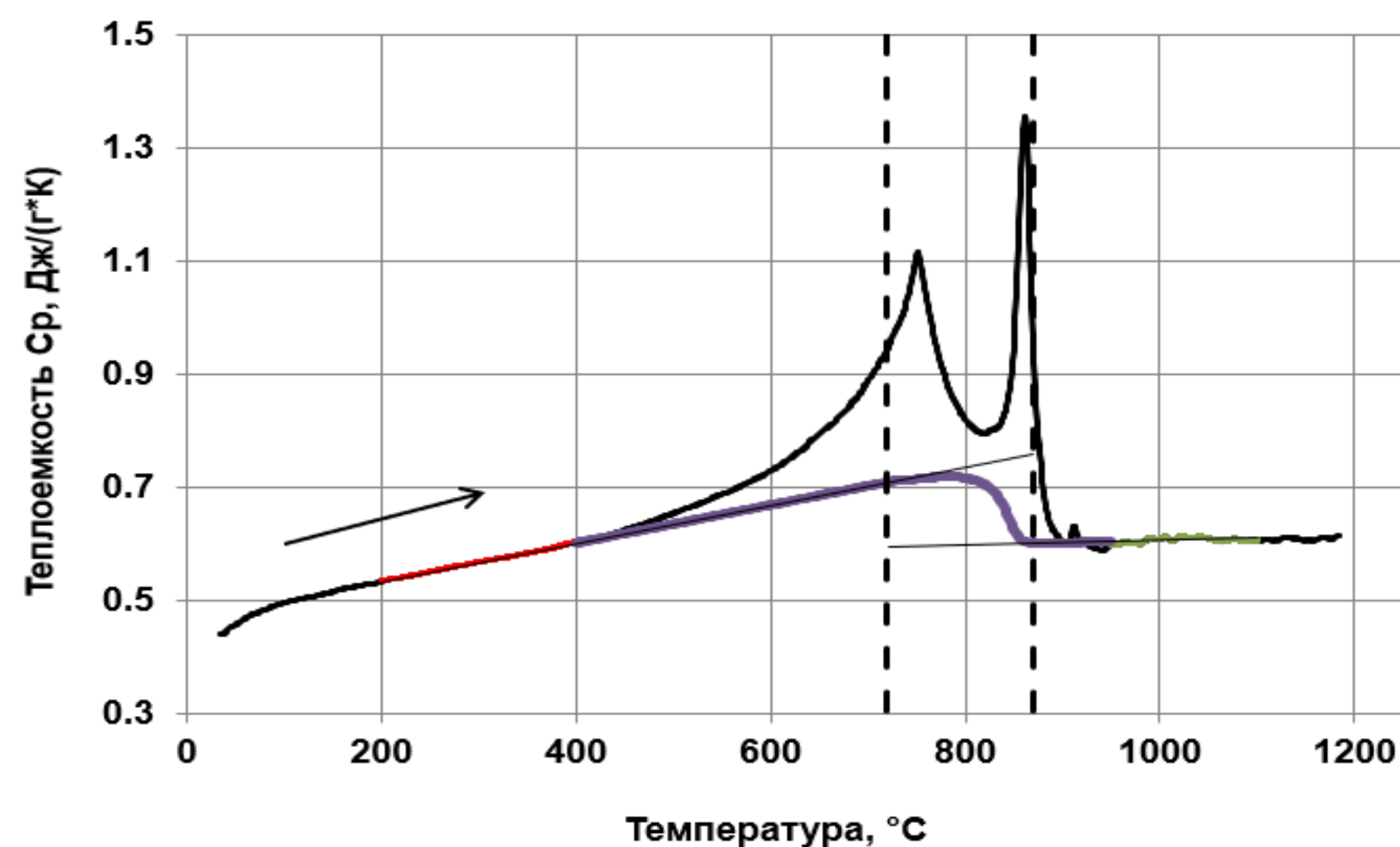


РИС. 5 Участки для определения уравнений теплоемкости фаз и проведение базовой линии для расчета тепловых эффектов в стали 05Г2МБ при повторном нагреве

Следует отметить, что рассчитанные значения тепловых эффектов магнитного превращения оказались больше значений тепловых эффектов $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения в 3,5 раза для армко-железа и в среднем в 2 раза для стали 05Г2МБ.