

УДК 621.77.04

ТЕРМИЧЕСКАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ СТАЛИ ВКС-10 ПОСЛЕ КРИОБАРОДЕФОРМИРОВАНИЯ

Екатерина Александровна Евсюткина

Студентка 4 курса

Кафедра «Материаловедение»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Р.С. Фахуртдинов,

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»

Ключевые слова: криобародеформирование (*deformation at cryogenic temperatures and hydrostatic pressure*), ультрамелкозернистая структура (*ultrafine structure*), дифференциальная сканирующая калориметрия (*Differential Scanning Calorimetry*), вакуумное азотирование (*vacuum nitriding*).

Аннотация: В работе исследовано влияние криобародеформирования на структуру и свойства теплотойкой стали ВКС-10. Термическим анализом установлена структурная стабильность стали после криобародеформирования, которая составляет более 510°C, что послужило основанием для назначения режимов азотирования.

ВВЕДЕНИЕ

Современные традиционные технологии изготовления и упрочнения высоконагруженных деталей, в частности зубчатых колес редукторов различного назначения, практически исчерпали свои потенциальные ресурсы. Дополнительные и значительные ресурсы повышения комплекса эксплуатационных свойств ответственных деталей машин заключены в разработке новых комплексных технологий термической и химико-термической обработки, основанных на активизации процессов диффузионного насыщения и обеспечивающих объемное и поверхностное наноструктурное (или ультрамелкозернистое) состояние.

Формирование ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры приводит к высокопрочному состоянию при высоком запасе пластичности и вязкости, что крайне необходимо в обеспечении эксплуатационной надежности деталей машин. Ультрамелкозернистую структуру предполагается создавать с использованием методов интенсивного пластического деформирования при криогенных температурах, термической и химико-термической обработки.

В настоящее время для поверхностного упрочнения зубчатых колёс используются процессы газового азотирования, газовой цементации и нитроцементации. Эти процессы не в полной мере отвечают возросшим требованиям по эксплуатационной надёжности зубчатых передач, они экологически не безопасны, энергетически затратны, материалоемки.

Для совершенствования производства высоконагруженных деталей требуется разработать новые технологические процессы, основанные на применении ионного азотирования, вакуумного азотирования, вакуумной цементации и нитроцементации.

Указанные процессы обеспечивают экономию материалов и электроэнергии, отличаются экологической чистотой проведения процессов, позволяют достигать повышенные механические и эксплуатационные свойства деталей по сравнению с традиционными методами химико-термической обработки.

Таким образом, для решения поставленных задач предлагаются разработать комплексные технологии, включающие процессы интенсивного пластического деформирования при криогенных температурах и инновационные процессы химико-термической обработки.

Цель настоящей работы – определение термической стабильности стали ВКС-10 после криобародеформирования и назначение режима вакуумного азотирования.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения термической стабильности стали ВКС-10 после криобародеформирования проводился дифференциальный термический анализ. Исследование проходило на дифференциальном сканирующем микроскопе DSC 404 F1 (рис. 1). В качестве эталона использовался корундовый тигель. Скорость нагрева и охлаждения составляла 10 °С/мин.



Рисунок 1 – дифференциальный сканирующий калориметр DSC 404 F1

Использовались образцы стали ВКС-10 в исходном состоянии и после криобародеформации (КБД), со степенью пластической деформации 28%.

Криобародеформация проводилась в лаборатории физики прочности и пластичности Национального научного центра «Харьковский физико-технический институт» НАНУ. Установкой для проведения КБД послужил низкотемпературный пресс (рис. 2). В комплекте оборудования использовалась приставка к прессу для низкотемпературной квазигидроэкструзии (рис.3)./1/ Испытание проводилось при температуре 77К.

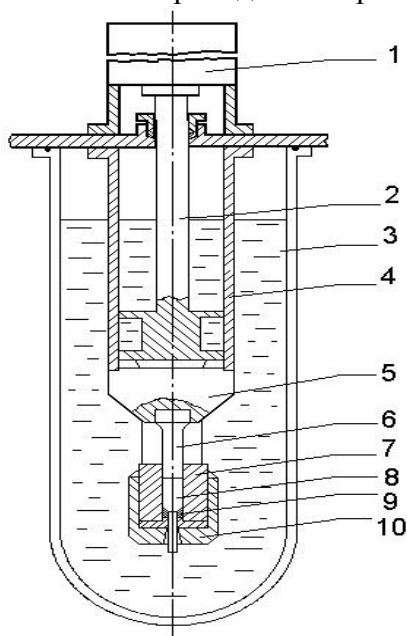


Рисунок 2 - Низкотемпературный пресс. 1 – гидроцилиндр, 2 – тяга, 3 – сжиженный газ, 4 – опорная колонна, 5 – траверса, 6 – пуансон, 7 – контейнер, 8 – заготовка, 9 – матрица, 10 – корзина тяги

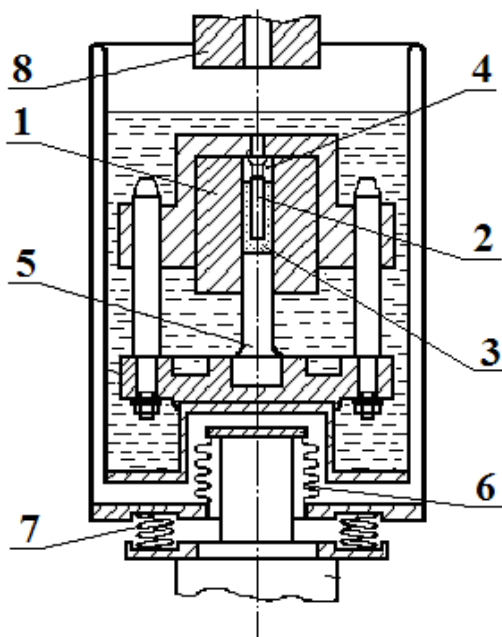


Рисунок 3 - Приставка к прессу для низкотемпературной квазигидроэкструзии. 1-контейнер, 2-заготовка, 3-среда, 4-матрица, 5-пуансон, 6-вставка, 7-пружина, 8-плунжер

Средой для проведения КБД послужил индий, удовлетворяющий критериям: низкая прочностью на сдвиг; при сдвиге испытывает пластическое течение, а не хрупкое разрушение; обладает малой сжимаемостью; химически инертен./1/

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Металлографический анализ был проведен на образцах с помощью оптического микроскопа фирмы Olimpus. Были получены изображения для исходного и деформированного образцов с увеличением $\times 200$, $\times 500$ и $\times 1000$ (рис. 4).

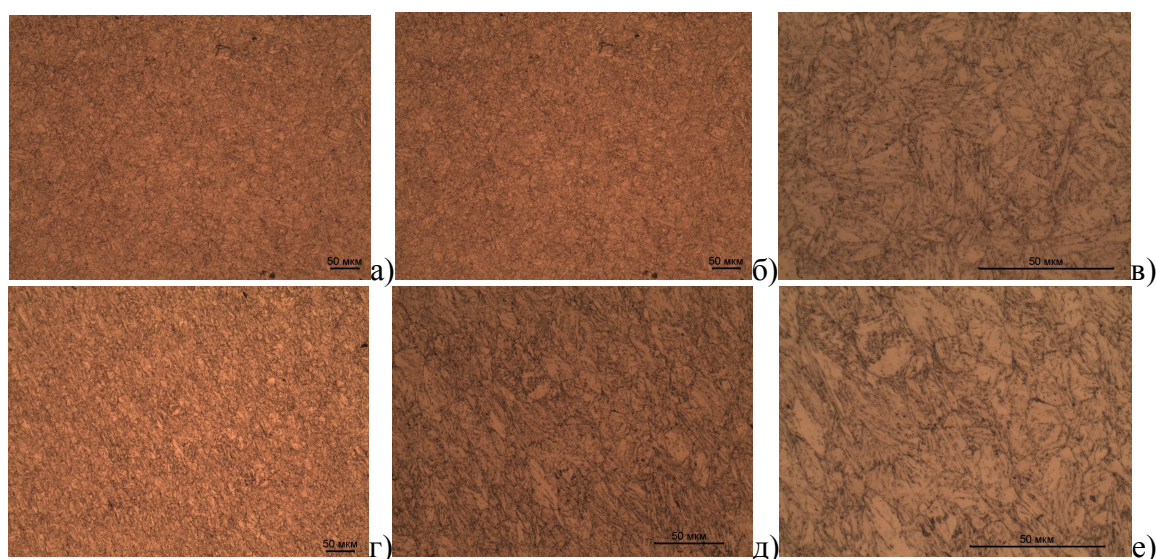


Рисунок 4 - Структура стали ВКС-10 в исходном состоянии (а-в) и после криобародеформации $\epsilon=28\%$ (г-е) с различным увеличением: а,г - $\times 200$; б,д - $\times 500$; в,е - $\times 1000$.

Микротвердость измерялась на приборе DuraScan методом EN ISO 6507 с помощью программного обеспечения ecosWorkflow; нагрузка составляла 50 г. Расчет по 12 точкам для исходного образца показал среднее значение микротвердости 418 ± 10 ; для деформированного образца - 451 ± 15 . Повышение значения микротвердости объясняется формированием ультрамелкозернистой структуры в процессе криобародеформирования. Стоит отметить, что деформация при криогенных температурах позволяет получать однородную структуру по всему объему материала. /1/

Методом дифференциальной сканирующей калориметрии были получены кривые ДСК для исходного образца стали ВКС-10 (рис. 5) и для деформированного образца, $\epsilon=28\%$ (рис. 6).

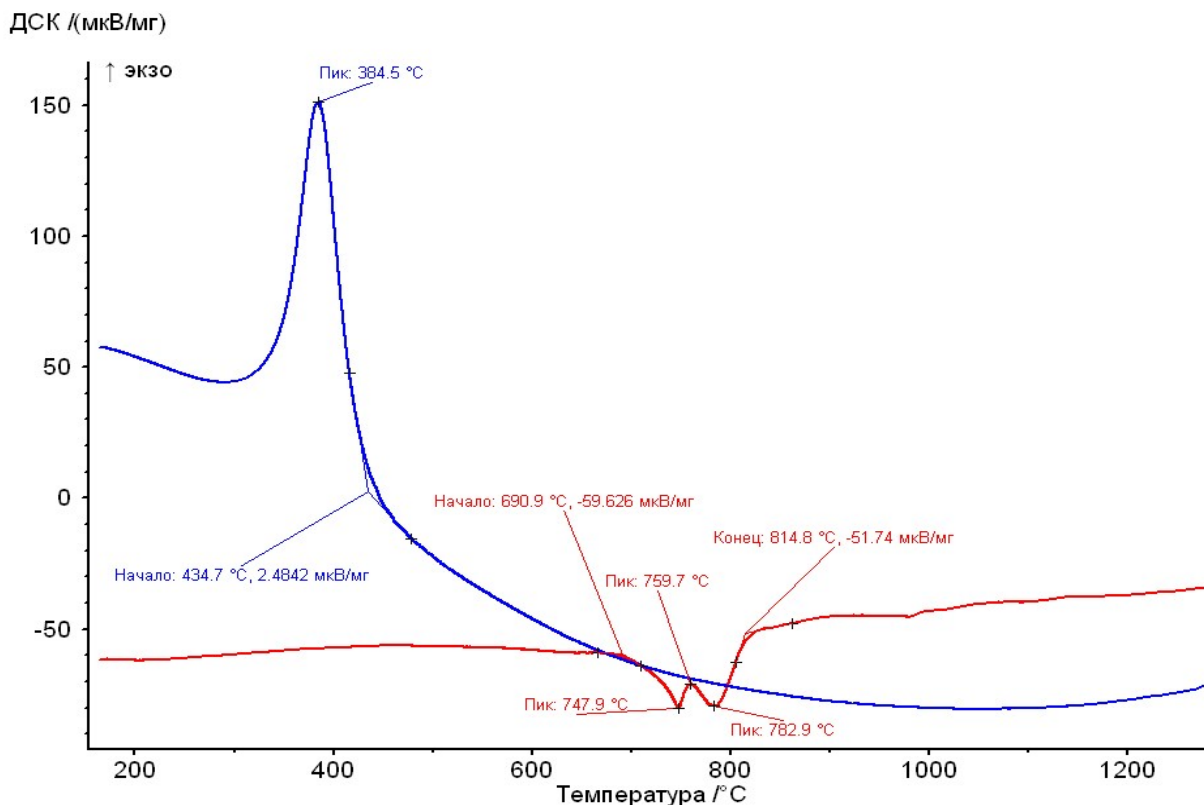
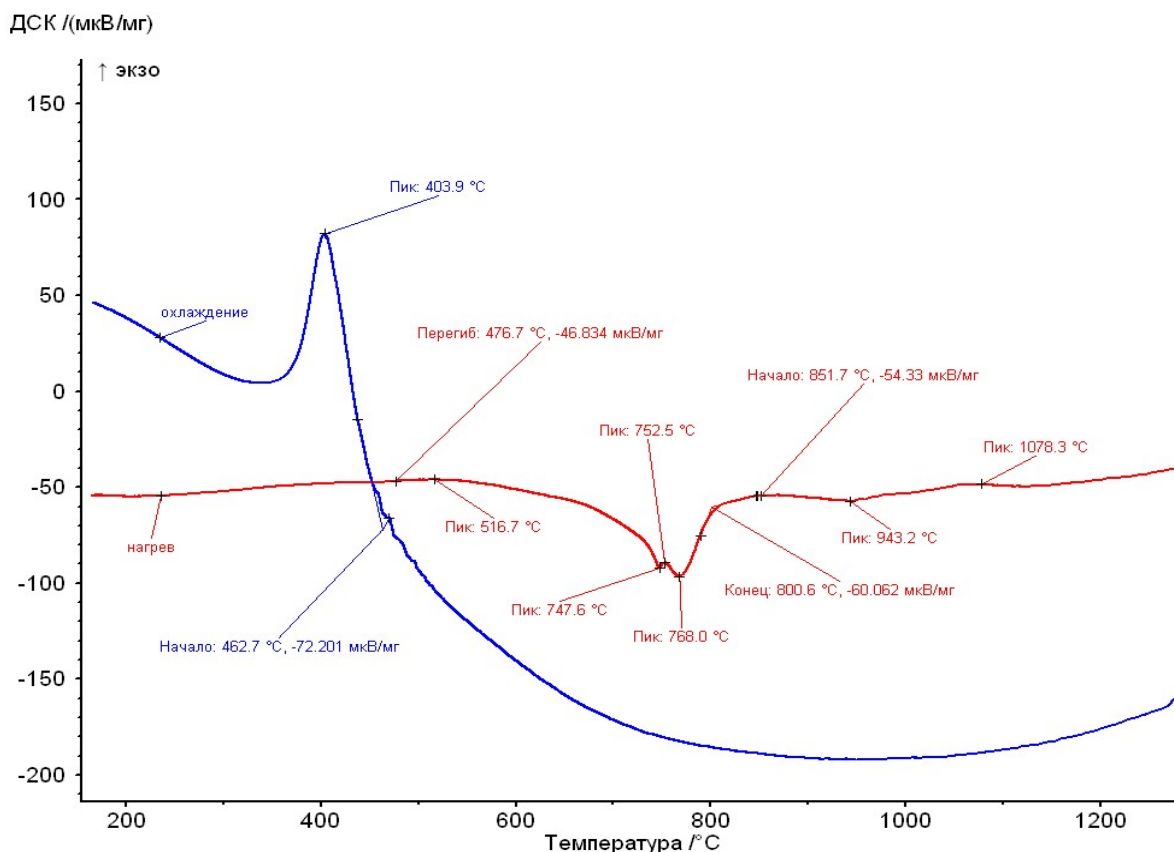


Рисунок 5 – Кривые ДСК для исходного образца ВКС-10

Рисунок 6 - Кривые ДСК для деформированного образца стали ВКС-10, $\varepsilon=28\%$

Исходя из полученных кривых, можно определить температуры фазовых переходов стали ВКС-10 в исходном состоянии и после криобародеформирования, и установить термоустойчивость стали после криобародеформирования. Критические точки представлены в таблице 1.

Таблица 1. Температуры фазовых превращение стали ВКС-10 в исходном состоянии и после криобародеформирования

Образец		Исходный	Деформированный (28%)
При нагреве	Стадия превращение		
	начало	691°C	517°C
	пик 1	748°C	748°C
	пик 2	783°C	768°C
При охлаждении	конец	815°C	801°C
	начало	435°C	463°C
	пик	385°C	404°C

По данным графикам можно сделать вывод, что после криобародеформирования термическая стабильность стали ВКС-10 несколько снижается. Это может быть связано с недостаточной степенью деформирования образца, возможно проведение исследования с образцом со степенью деформации 38%. По данным ВИАМа температуры превращений для стали ВКС-10 составляют: $A_{C1}=720^{\circ}\text{C}$; $A_{C3}=840^{\circ}\text{C}$; $A_{T1}=410^{\circ}\text{C}$; $A_{T3}=290^{\circ}\text{C}$.

Для наглядности следует привести два графика влияния деформации на температуры фазовых превращений (рис. 7 и 8).

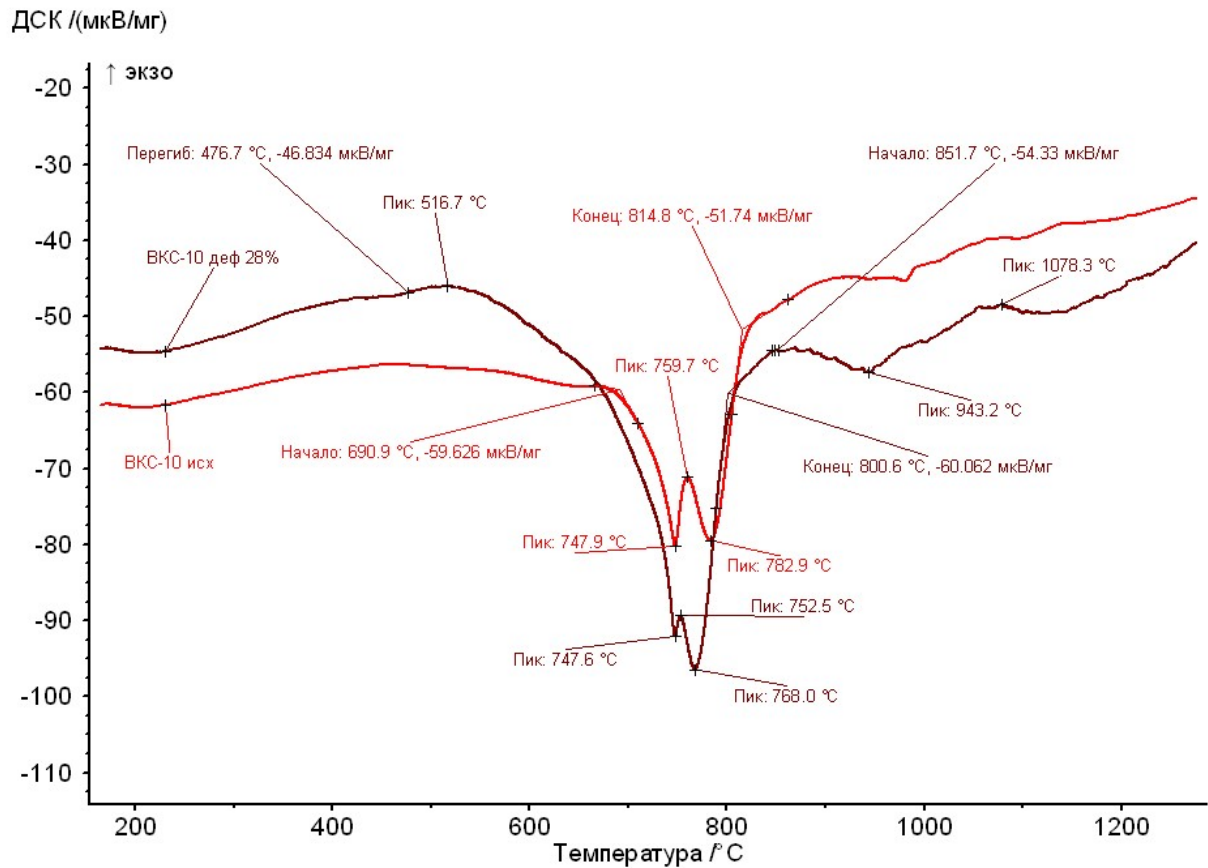


Рисунок 7 – Кривые ДСК для исходного и деформированного образцов ($\epsilon=28\%$) при нагреве

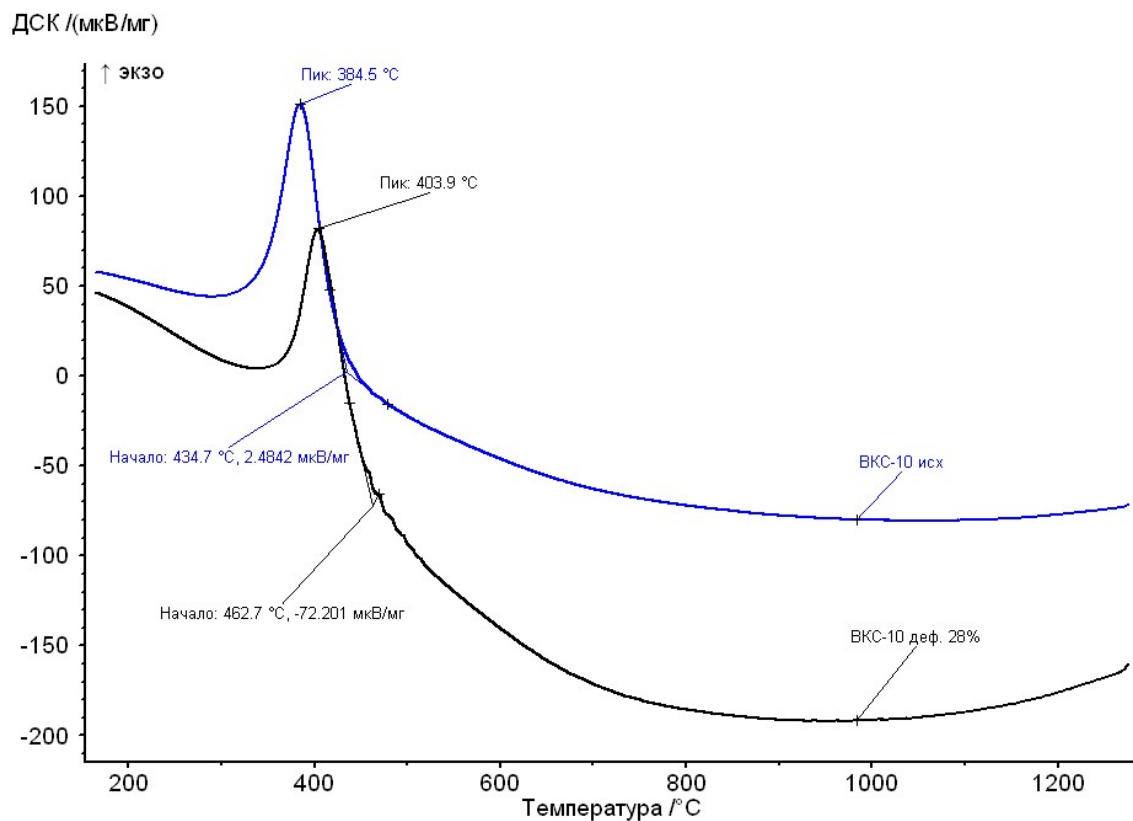


Рисунок 8 – Кривые ДСК для исходного и деформированного ($\epsilon=28\%$) образцов при охлаждении

Наличие пиков на кривых ДСК свидетельствует о прохождении фазовых превращений в стали, связанных с поглощением тепла, в случае нагрева, и с выделением тепла при охлаждении. /2/

У деформированного образца тепловой эффект значительно превышает значение теплового эффекта исходного образца. При нагреве разница величин теплового эффекта составляет 30 мкВ/мг; при охлаждении – 40 мкВ/мг. Это связано с механизмами, протекающими при пластической деформации. Во-первых, элементарные акты размножаются и накапливаются в деформируемом объеме устойчивых дефектов и повреждений, при этом увеличивается свободная энергия дефектов; во-вторых, происходит размножение, перемещение и аннигиляция неустойчивых дефектов и повреждений, при этом освобождается свободная энергия, что микроскопически проявляется в виде *теплового эффекта деформации*. /3/

ВЫВОДЫ

1. В результате термического анализа для стали ВКС-10 в исходном и деформированном состоянии (степень деформации 28%) были определены температуры начал и концов фазовых превращений, для исходного состояния:

$A_{C1}=691^{\circ}\text{C}$; $A_{C3}=815^{\circ}\text{C}$; $A_{F1}=435^{\circ}\text{C}$; $A_{F3}=385^{\circ}\text{C}$; для деформированного образца: $A_{C1}=517^{\circ}\text{C}$; $A_{C3}=801^{\circ}\text{C}$; $A_{F1}=463^{\circ}\text{C}$; $A_{F3}=404^{\circ}\text{C}$.

2. На рисунках 7 и 8 можно заметить увеличение тепловых эффектов при нагреве и охлаждении у деформированного образца по сравнению с исходным. При нагреве разница величин теплового эффекта составляет 30 мкВ/мг; при охлаждении – 40 мкВ/мг.

3. Исходя из данных по методу дифференциальной сканирующей калориметрии было обнаружено снижение термической устойчивости стали ВКС-10 после криобародеформирования. В связи с чем были назначены следующие режимы азотирования данной стали: вакуумное азотирование при $T=490^{\circ}\text{C}$ в течение 5, 10 и 15 часов.

Литература

1. Хаймович П.А. На пути к барокриодеформированию металлов / В кн. Перспективные материалы. Т. III. 2009. С. 363–406.
2. Методические указания к лабораторной работе. Основы дифференциальной сканирующей дилатометрии. МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, 2010. 35 с.
3. А.Г. ГУМЕРОВ, Р.С. ЗАЙНУЛЛИН, К.М. ЯМАЛЕЕВ, А.В. РОСЛЯКОВ. Старение труб нефтепроводов. © Коллектив авторов, 1995, 220 с.