

грузки [6]. Отмечено, что одной из причин неоднозначности полученных экспериментальных результатов являются индивидуальные особенности использованных методик исследования и, в частности, тепловых схем экспериментальных установок.

На основании выводов работ [6, 7] и рассмотрения полученных результатов исследования критических тепловых нагрузок в пучках следует, что для развития кризисного явления при использовании прямоточной схемы условия более благоприятны, чем при использовании замкнутой схемы. В связи с этим абсолютные значения критических тепловых нагрузок для прямоточной схемы ниже.

Изучение осциллограмм, записанных при скорости 50 м/сек, показало, что колебания расхода и давления теплоносителя соответствуют только моменту кризиса теплоотдачи. Уменьшение расхода и роста давления на входе и выходе экспериментального участка происходит примерно за 2 сек. Эти изменения для дистанционирующих решеток с планками составляют около 10% от значений, соответствующих стационарному режиму. Изменения характера колебаний расхода и давления теплоносителя в опытах для дистанционирующих решеток с ячейками менее выражены. Дистанционирующая решетка с ячейками обеспечивает более устойчивую гидродинамическую обстановку в экспериментальном участке в момент образования кризисного явления, чем дистанционирующая решетка с планками. Визуально было обнаружено, что при работе как по прямоточной, так и по замкнутой схемам в опытах для дистанционирующих решеток с планками кризисное явление (пережог трубок пучка) наблюдалось как в конце обогреваемой части стержней, так и перед ней. В опытах для дистанционирующей решетки с ячейками оно наблюдалось только в конце обогреваемой части пучка.

Из рис. 2 следует также, что результаты, полученные в разное время на одной и той же экспериментальной установке, удовлетворительно повторяются.

Экспериментальные результаты, полученные на пучках с дистанционирующими решетками для замкнутой схемы, а также опытные данные других авторов представлены на рис. 3.

Исследование Уотерса [5] выполнено с использованием пучка из 19 стержней диаметром 14,3 мм, расположенного в треугольной решетке с зазором между стержнями 1,88 мм при длине обогреваемого участка 470 мм. Стержни имели проволочную навивку по спирали, которая в данном случае интенсифицировала процесс теплоотдачи. Массовые скорости теплоносителя при исследованиях составляли более 600 кг/м²·сек, давление 83 бар. Исследования Поломика проводились с пучком, состоящим из девяти стержней, расположенных в квадратной решетке с зазором между стержнями 4,6 мм; давление равнялось 96,7 бар; опыты Матзнера

проведены при давлении 68,7 бар на 19-стержневом пучке с зазором между стержнями 2,1 мм. Стержни пучка также имели проволочную навивку.

Приведенные на рис. 3 результаты показывают, что значения критических тепловых нагрузок, полученные в настоящей работе для пучка стержней с дистанционирующими решетками при работе по замкнутой схеме, достаточно удовлетворительно согласуются с данными других исследователей.



Рис. 3. Сравнение результатов экспериментальных исследований зависимости тепловой нагрузки от массового паросодержания, полученных различными авторами:

x — данные Уотерса; □ — данные Поломика; ○ — данные Матзнера; ▲ — экспериментальные результаты, полученные в настоящей работе для замкнутой схемы при использовании дистанционирующей решетки с ячейками и планками.

Из сравнения величин критических тепловых нагрузок для пучков с внешним обтеканием теплоносителя и для течения паро-водяной смеси в трубах следует, что критические тепловые нагрузки для внешнего обтекания пучков значительно ниже, чем для труб.

Поступило в Редакцию 26/VIII 1964 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б. А. Зенкевич, В. И. Субботин, М. Ф. Троянов. «Атомная энергия», 4, 370 (1958).
2. В. И. Субботин, П. А. Ушаков, А. В. Жуков. «Инж.-физ. ж.», IV, 3 (1961).
3. Э. В. Фирсова. Там же, VI, 17 (1963).
4. S. Green, G. Mauger. Paper Amer. Soc. Mech. Engrs, № HT-43 (1962).
5. E. Waters, D. Fitzsimmons. Nucleonics, 21, No. 10 (1963).
6. В. Е. Дорожук, Ф. П. Фрид. «Теплоэнергетика», № 9, 74 (1959).
7. В. И. Смолин, В. К. Песков, В. И. Есиков. «Атомная энергия», 16, 417 (1964).

УДК 546.791:621.039.543.4

Термоэлектрические свойства поликристаллического урана

А. А. Цветаев, Ю. Н. Голованов, Р. К. Чужко, И. В. Кириллов

Термоэлектродвижущая сила (термо-э. д. с.) урана относительно меди и платины измерялась в работах [1, 2]. Значительные расхождения при этом авторы отнесли за счет влияния примесей. Абсолютная дифференциальная термо-э. д. с. урана была измерена только при низких (до 300° К) температурах [3].

В работах [4, 5] отмечалось, что при фазовых превращениях в уране не происходит резких изменений термо-э. д. с. Согласно принятым представлениям [6, 7], абсолютная дифференциальная термо-э. д. с. (ε) и э. д. с. Томсона (σ) металлов характеризуют энтропию и теплоемкость движущихся носителей

Рис. 1. Температурная зависимость ε для урана (99,83%):

△ — нагрев закаленного урана; ● — охлаждение этого же образца; □ — закаленный уран; ○ — первый нагрев закаленного урана (до 650°С); × — повторный нагрев этого же образца.

тока и обычно очень чувствительны к превращениям первого и второго родов [8].

Представлялось целесообразным исследовать зависимости ε и σ от температуры для урана разной чистоты, пользуясь известной методикой [8].

Необходимая для расчетов зависимость дифференциальной э. д. с. (e) Pt — PtRh термпары (40% Rh) от температуры определена на основании точной градуировки:

в интервале 0—320°С

$$e_{\text{Pt-PtRh}} = 5,442 + 0,02616 t - 0,0000239 t^2 \text{ мкв/}^\circ\text{С;}$$

в интервале 320—1080°С

$$e_{\text{Pt-PtRh}} = 8,362 + 0,00900 t \text{ мкв/}^\circ\text{С.}$$

Зависимость $\varepsilon_{\text{Pt}} = f(T)$ принята по данным работы [8]. В качестве образцов применяли проволоку урана разной чистоты (99,83 и 99,98%); диаметр проволоки был равен 1,5 мм, длина ~ 50 мм. Образцы с двумя приваренными на концах идентичными термопарами (Pt — PtRh) нагревали в аргоне со скоростью ~ 5°С/мин при перепаде температур по длине ~ 5°С.

Дифференциальные э. д. с. урана в паре с платиной и платинородиевым сплавом измеряли через каждые 20°С. Рассчитанные по этим данным значения $\varepsilon_{\text{U}} = f(T)$ для разных образцов приведены на

Рис. 2. Температурная зависимость ε для чистого урана (99,98%):

△ — первый нагрев закаленного урана (с переходом в β -модификацию); ○ — повторный нагрев этого же образца; □ — первое охлаждение в γ -области; ▲ — второе охлаждение в γ -области; × — уран, деформированный волочением в α -модификации; ● — уран, отожженный при 600°С после деформации волочением.

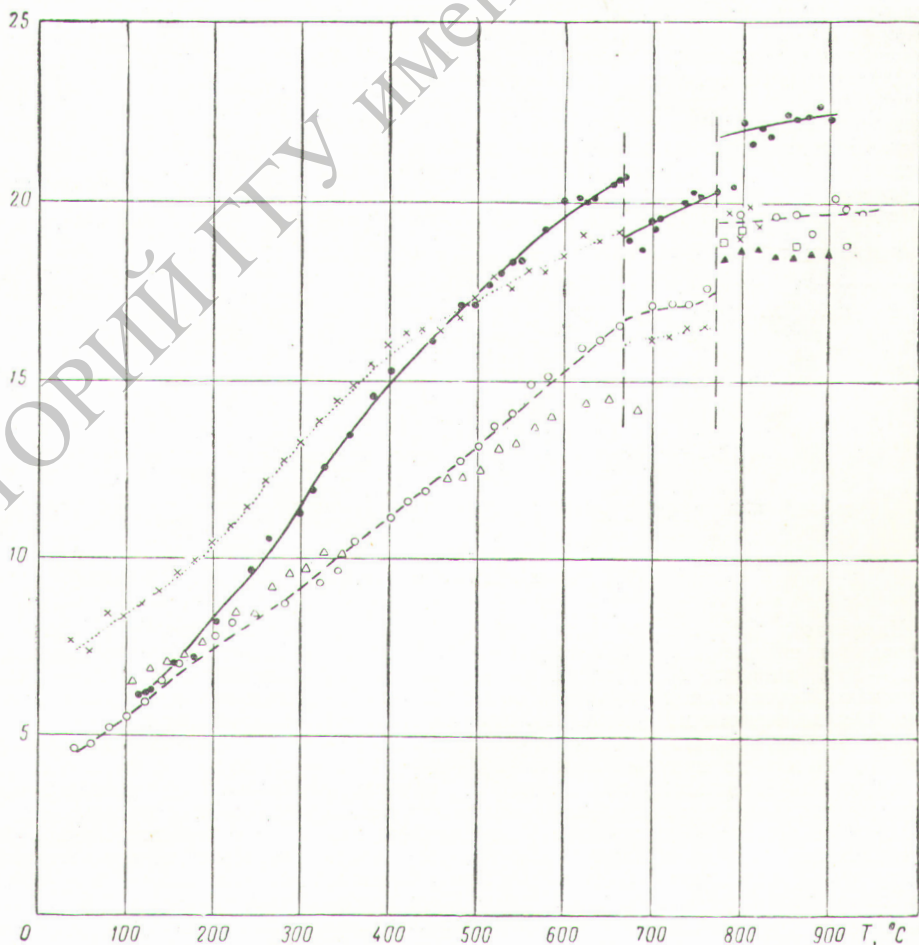
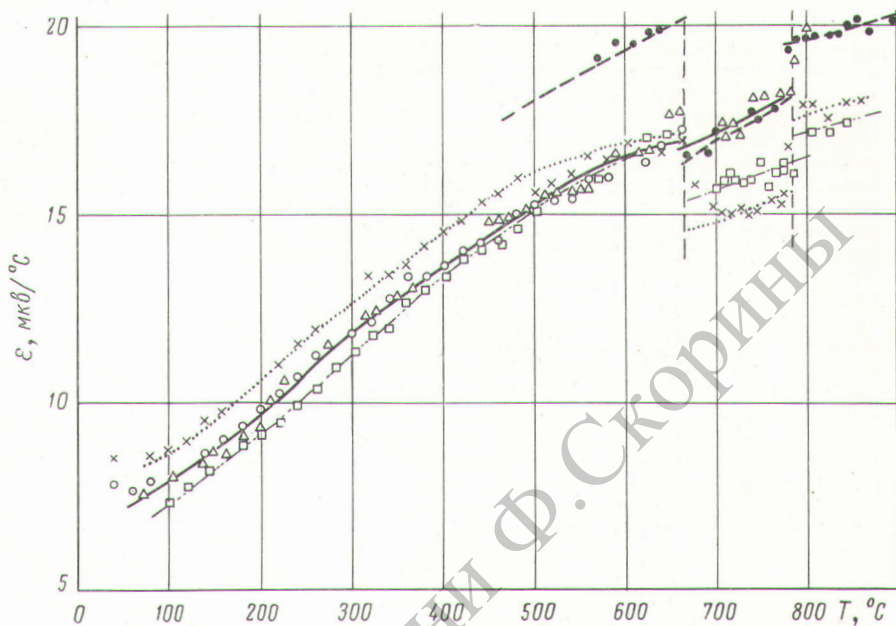


рис. 1 и 2. Начало кривых хорошо согласуется с ходом $\varepsilon_U = f(T)$ из работы [3]. Особенность приведенных кривых — наличие скачкообразных изменений ε_U при аллотропических превращениях. Наблюдается зависимость ε_U от примесей, однако более значительное влияние оказывают текстура образцов и, очевидно, характер распределения примесей. Так, уран в закаленном состоянии, характеризующийся максимальной квазиизотропией свойств и мелкозернистой структурой, показывает минимальный уровень ε_U . Наиболее высокие значения ε_U наблюдались на уране, деформированном волочением, и на уране, отожженном после деформации. Учитывая, что волочение создает текстуру (010) вдоль оси волочения, а отжиг приводит к дополнительному усилению этой текстуры [9], указанный эффект можно связать с анизотропией термоэлектрических свойств урановых кристаллов (по аналогии с монокристаллами других металлов [10]).

Различие в ходе кривых $\varepsilon_U = f(T)$ при циклах нагрев — охлаждение в области фазовых переходов показывает, что нельзя не учитывать влияние скорости фазовых переходов и наследственности текстуры на величину ε_U . Подобный гистерезис обнаруживается и для коэффициента термического расширения при циклах нагрев — охлаждение в области фазовых превращений. В целом же температурный ход ε_U должен зависеть от изменения свойств решетки урана. Повышение температуры в α -области, приводящее к ослаблению четырех ковалентных связей в решетке [11], должно сопровождаться увеличением энтропии носителей тока, т. е. увеличением ε_U . Переход из β - в γ -модификацию, обладающую нормальной металлической связью, должен сопровождаться увеличением энтропии носителей тока, что и наблюдалось во всех опытах. С этой точки зрения падение ε_U в β -модификации можно связать с усилением ковалентных связей в решетке β -урана по сравнению с решеткой α -урана. О температурной зависимости э. д. с. Томсона ($\sigma = T \frac{d\varepsilon}{dT}$) в общих чертах можно сказать, что в области существования α - и β -модификаций урана $\sigma > 0$, причем в точках перехода наблюдается скачкообразное изменение σ .

Вопрос о знаке σ в γ -модификации однозначно не решен из-за недостатка экспериментальных данных. Состояние образца сильнее влияет на σ , чем на ε . Так как по А. Ф. Иоффе [12] знак э. д. с. Томсона определяет характер проводимости, то следует считать, что в α - и β -урани имеет место дырочная проводимость. Как следствие этого постоянная Холла для α - и β -урана должна быть положительной. (О положительном значении постоянной Холла для α -урана сообщалось ранее [13].)

Поступило в Редакцию 24/VIK 1964 г.
В окончательной редакции 18/II 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. H. Ebert, A. Schulze. Z. Metallkunde, 38, 46 (1947).
2. A. Dahl, M. Van Dusen. J. Res. Nat. Bur. Standards, 89, 53 (1947).
3. W. Tyler et al. Trans. Amer. Inst. Mining. Met. Engrs, 197, 1238 (1953).
4. А. Н. Холден. Физическое металловедение урана. М., Металлургияздат, 1962, стр. 59.
5. Дж. Кац, Е. Рабинович. Химия урана. М., Изд-во иностр. лит., 1954, стр. 137.
6. W. Lattimer. J. Amer. Chem. Soc., 44, 2136 (1922).
7. М. И. Темкин, А. В. Хорошин. «Ж. физ. химии», 26, 500, 773 (1952).
8. А. А. Рудницкий. Термоэлектрические свойства благородных металлов и их сплавов. М., Изд-во АН СССР, 1956, стр. 18.
9. Г. Я. Сергеев, В. В. Титова, К. А. Борисов. Металловедение урана и некоторых других реакторных материалов. М., Атомиздат, 1960.
10. Я. Г. Дорфайн, И. К. Кикоин. Физика металлов. М.—Л., Гостехиздат, 1933, стр. 220.
11. Н. Т. Чеботарев. «Атомная энергия», 10, 43 (1961).
12. А. Ф. Иоффе. В сб. «Электронные проводники тока». М., Изд-во АН СССР, 1947, стр. 305.
13. F. Boeschoten, C. Huiszoon. Physica, 23, 704 (1957).

УДК 669.14:66.046.1

Влияние скорости кристаллизации и отжига на пластические свойства высокобористой стали

Р. В. Гребенников, А. В. Чиркин

Имеющиеся данные позволяют заключить, что при деформировании нержавеющей стали (18—20% хрома и 10—16% никеля), содержащей более 1,5% бора, возникают значительные трудности вследствие пониженной пластичности материала [1]. При содержании бора более 2,2% прокатка неизбежно приводила к образованию рванин по кромкам листов [2].

Хрупкость бористых сталей может быть объяснена их двухфазным строением, при котором наряду с металлической основой имеется хрупкая и твердая боридная составляющая обычно в виде игл и пластин, часто между собой сросшихся. Естественно предположить, что, измельчив боридные частицы, придав им глобулярную форму и отделив друг от друга, можно значи-

тельно улучшить деформируемость и механические свойства бористой стали. Один из возможных путей такого улучшения — кристаллизация металла с повышенной скоростью с последующим высокотемпературным отжигом.

В качестве материала для исследования была выбрана бористая сталь с содержанием 19,9—20,7% хрома, 14,5—17,9% никеля и 1,86—2,35% бора. Содержание углерода и кремния составляло 0,03—0,05% и 0,40—0,61% соответственно. Сталь выплавляли в высокочастотной печи с магнетитовым тиглем емкостью 20 кг. Слитки длиной 100—180 и шириной 60 мм отливали при 1450—1500°С в оболочковые песчаные формы (толщина слитка 15 мм) и медные щелевые изложницы