

А. Г. Карагезян

Температуропроводность и электросопротивление α -титана и титановых сплавов Т-3, Т-4, ВТ-5, Т-6, Т-8

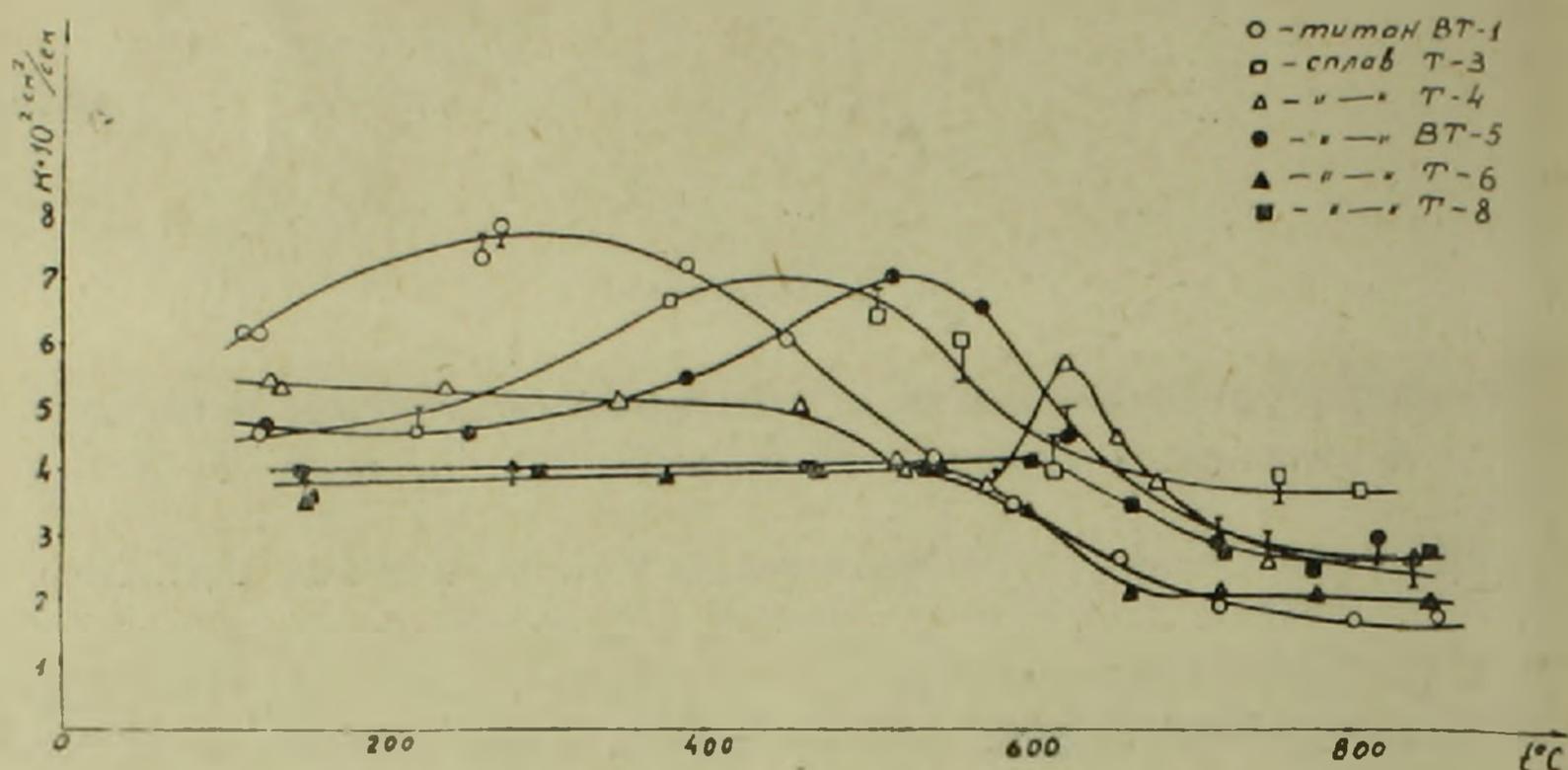
(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Н. М. Кочаряном 13/III 1961)

В Институте металлургии АН СССР за последние годы развита физико-химическая теория жаропрочности применительно к титановым сплавам (^{1,2}). Исходя из разработанных положений о многокомпонентном упрочнении сложных сплавов твердых растворов металлов и достижения максимума жаропрочности в переходных областях от твердых растворов к гетерогенным областям систем, доказана возможность создания высокопрочных и жаропрочных титановых сплавов, далеко превосходящих по своим свойствам свойства чистого титана и существующие как у нас, так и за границей титановые сплавы. В результате этих исследований были синтезированы высокопрочные и жаропрочные сплавы Т-3, Т-4, Т-6, Т-8 (³), состоящие из титана, алюминия, хрома, железа, кремния и бора. Однако тепловые и электрические свойства названных сплавов не изучены. Допуская возможность фазовых превращений в интервале температур 400–600°С, нами была исследована температурная зависимость температуропроводности и электросопротивления, как весьма чувствительного средства для определения точек превращения и выяснения причин, вызывающих аномалии в механических свойствах исследованных сплавов (⁴).

Тепловые и электрические свойства. Температуропроводность и электросопротивление измерялись для титана ВТ-1 и всех выше-названных сплавов. Измерения производились на установке, разработанной В. Е. Микрюковым и автором (⁴).

Как видно из графиков на фиг. 1, температуропроводность всех сплавов испытывает резкое изменение в области температур 500–600°С. По-видимому, не следует обращать особого внимания на несколько различный температурный ход кривых до отмеченной области температур, учитывая, что содержание абсорбированного кислорода в сплавах различно, несмотря на идентичность условий эксперимента и на то, что эксперимент производился в вакууме порядка 10^{-4} мм рт. столба на образцах, предварительно отожженных в той же вакуумной

среде. Из рисунка видно, что у всех сплавов, начиная с температуры 500°C , наблюдается резкое изменение температурного хода кривых температуропроводности. Немонотонный характер имеет и кривая изменения температуропроводности с температурой у чистого титана. Ее максимум приходится на интервал $270\text{--}300^{\circ}\text{C}$. Таким образом зна-



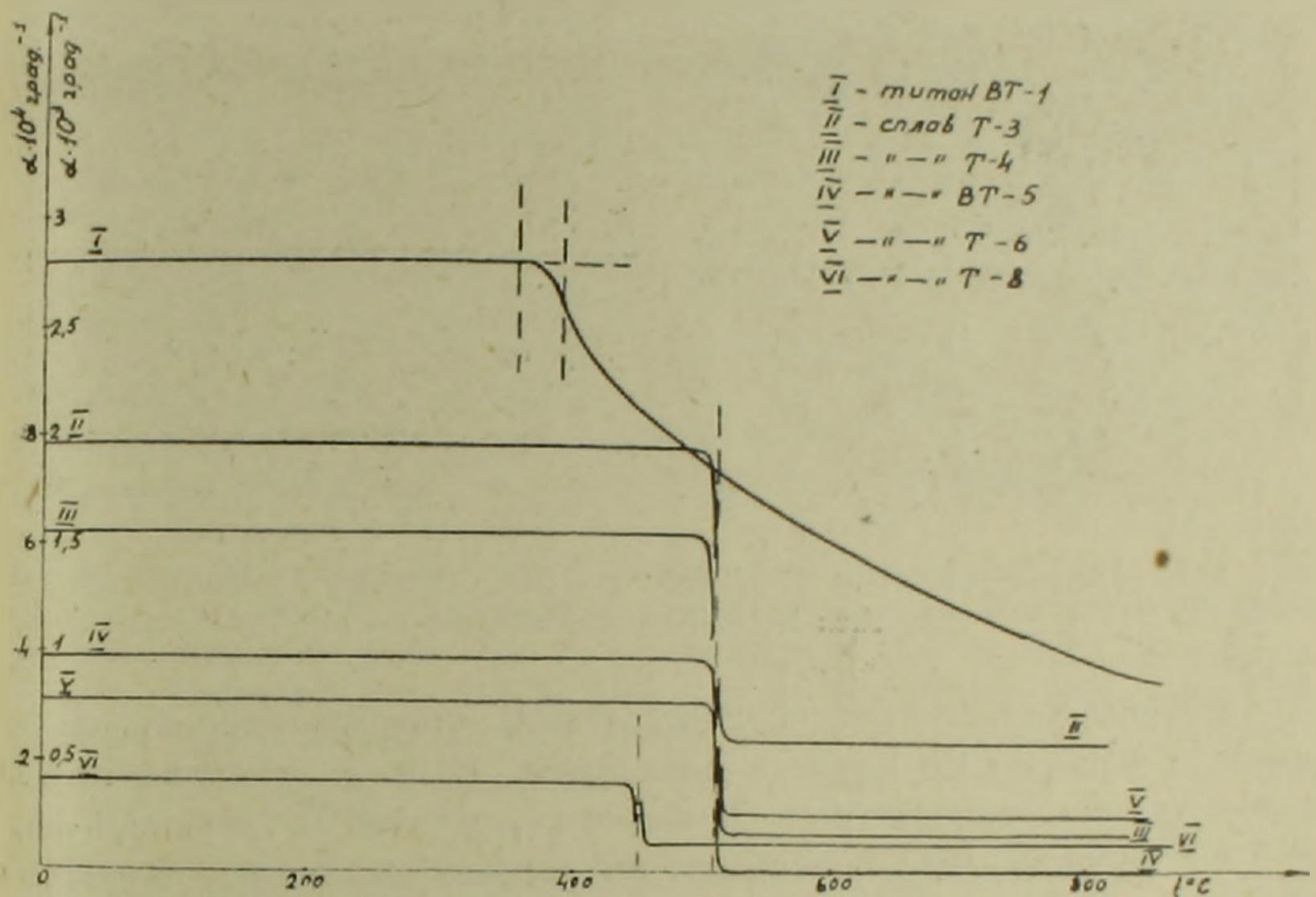
Фиг. 1. Кривые изменения температуропроводности с температурой.

чение температуропроводности находится в хорошем согласии с механическими свойствами исследованных сплавов, для которых интервал рабочих температур не превышает 550°C .

Удельное электросопротивление тех же образцов измерялось в одном и том же опыте вместе с температуропроводностью. Полученное для титана VT—1 значение удельного электросопротивления при комнатной температуре 69×10^{-6} ом. см хорошо согласуется с литературными данными (5, 6). Удельное электросопротивление исследованных сплавов при комнатной температуре возрастает с увеличением содержания алюминия в сплаве¹. Удельное электросопротивление всех сплавов растет с температурой линейно, причем температурный коэффициент электросопротивления (фиг. 2) падает с увеличением содержания алюминия в сплаве. В интервале температур $450\text{--}520^{\circ}\text{C}$ все графики испытывают перелом, оставаясь и после прямолинейными. Таким образом интервал температур, где происходят превращения в сплавах, составляет 70°C , причем для сплавов T—3, T—4, T—6, VT—5 этот интервал более узок и составляет примерно 20° . Обращает на себя внимание тот факт, что температурный коэффициент электросопротивления для всех сплавов претерпевает изменение в достаточно узкой области температур. Это тем более инте-

¹ Содержание алюминия в сплавах T—3, T—4, T—6, T—8 меняется от 3 до 7,5 вес. %, увеличиваясь на 1,5 вес. % от сплава к сплаву. Легирующая присадка из Cr, Fe, Si, B в исследованных сплавах составляет 2,5 вес. %. Сплав VT—5 имеет в составе 95% Ti + 5% Al.

видно, что сплав ВТ—5, состоящий только из титана и алюминия, не составляет исключения в этом отношении. Незначительность перелома кривой изменений удельного электросопротивления с температурой в интервале 360—400°С по сравнению со скачком электросопротивления, имеющим место при температуре аллотропического превращения, позволяет думать, что здесь имеет место превращение иного порядка. Область 360—400°С, где имеет место перелом, можно объяснить как границу, начиная от которой рост кристаллитов (увеличение зерен) идет быстрее, чем повышение температуры. При увеличе-

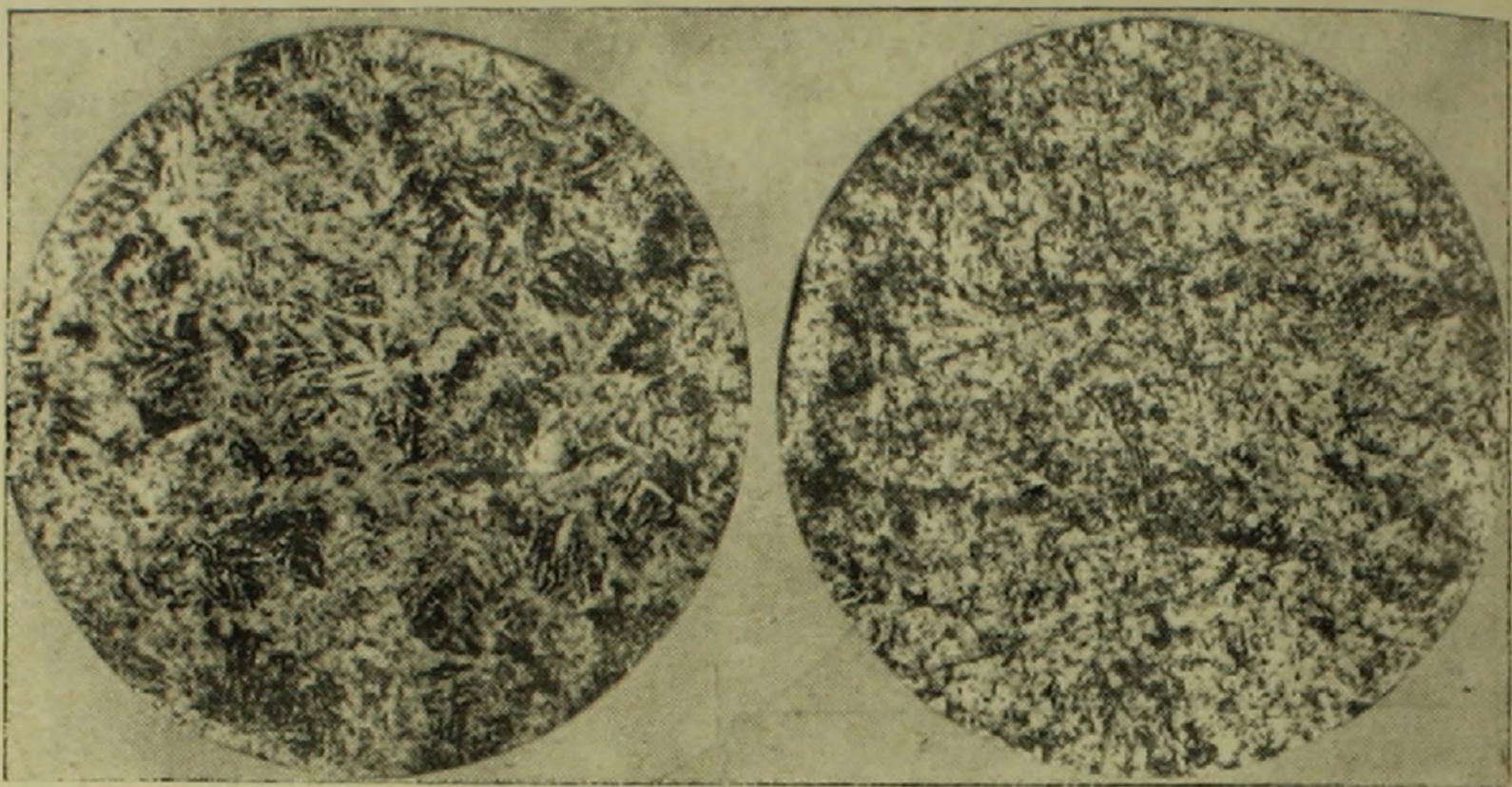


Фиг. 2. Температурный коэффициент электросопротивления для чистого титана и исследованных сплавов.

нии зерен степень дисперсности ($\frac{S}{V}$ — отношение поверхности к объему) уменьшается, вследствие чего приращение электросопротивления в зависимости от температуры уменьшается, что и наблюдается в данном случае. Наличие переломов на кривых электросопротивления мы склонны объяснить не чем иным, как структурными превращениями в самом титане. Микроструктурный анализ подтвердил наши предположения. На фиг. 3 приведены микроструктуры титана ТГ—0, закаленного с температур 350 и 450°С. До температуры 350°С (микроструктуры титана, закаленного с температур, лежащих в интервале 20—350°С не приведены) исследованный титан имеет мартенситообразную структуру (фиг. 3а). При температуре 450°С (фиг. 3б) легко заметить размельчение структуры. Превращение, наблюдаемое в чистом

¹ Были исследованы микроструктуры сплавов Т—3, ВТ—5 и титана ТГ—0 при различных температурах.

титане, можно было объяснить, если содержание железа в нем не было столь малым (0,09%). Так, по Полонису и Парру (7), у сплава, содержащего 0,2%, температура мартенситного превращения (M_s) равна 280 ± 15 С и повышается до 350°C для сплава с 2,2% Fe. Можно предположить, что в данном случае имеет место превращение аустенит-



Фиг. 3. Микроструктура титана ТГ—0 при: а— 350°C ($\times 200$); б— 450°C ($\times 200$). Травлен $\text{HF} + \text{HNO}_3$ в глицерине.

мартенситного характера (Schubumwandlung), обнаруженное в сплавах Co—Pd и в чистом Co Грубе и Винклером (8) и в сплавах Fe—Ni Анастаснадисом и Гюрглером (9).

Так, микроструктурный анализ подтвердил наши предположения об изменении фазового состава исследованных сплавов в интервале температур, заключающем в себе точку перелома кривых удельного электросопротивления, а также то, что причину этих превращений следует связывать с превращениями, происходящими в самом титане.

Автор приносит глубокую благодарность доктору физико-математических наук В. Е. Микрюкову за предложенную тему и ценные советы при ее выполнении.

Московский государственный университет

Ա. Գ. ՂՐԻՍՏՈՋՅԱՆ

α-Ֆազանի և T-3, T-4, BT-5, T-6, T-8 ֆազանի միահավաճմանի ցերմաստիճանահաղորդականությունը ու էլեկտրադիմադրությունը

Ստիպատանքում հետազոտված է α-տիտանի և տիտանից, ալյումինից, բրոմից, երկաթից, սիլիցիումից և բորից բաղկացած նոր բարձրամուր և կրակամուր տիտանի միահավաճքների ջերմաստիճանահաղորդականության ու տեսակարար էլեկտրադիմադրության ջերմաստիճանային կախումը: Հետազոտության նպատակը կայանում էր այն անոմալիաների բացատրման մեջ, որոնք տեղի են ունենում նշված միահավաճքների մեխանիկա-

կան հատկություններում: Ստացվել է ջերմային և էլեկտրական հատկությունների և հետազոտված միահալվածքների մեխանիկական հատկությունների լավ համաձայնություն: Փորձ է արվում բացատրելու մեխանիկական հատկություններում անոմալիաները ստրուկտուրային փոխակերպումներով, որոնք առաջանում են հենց տիտանի մեջ: Քանի որ ջերմաստիճանների ինտերվալը, որտեղ նկատվում են էլեկտրադիմադրության կորեքի կտրվածքները, հեռու է դանվում ալոտրոպիկ փոխակերպման ջերմաստիճանից, ենթադրվում է, որ այնպիսի դեպքում տեղի է ունենում աուստենիտա-մարտենսիտային բնույթի փոխակերպում, որպիսին վաղուց հայտնաբերել են Co-Pd, Fe-Ni միահալվածքներում և մաքուր Co-ում մի շարք հեղինակներ: Կատարվել է միկրոտրեկտուրային վերլուծություն (անալիզ), որը հաստատել է այն ենթադրությունները որոնք վերաբերում են հետազոտված միահալվածքների ֆազային բաղադրության փոփոխություններին ջերմաստիճանների ինտերվալում, որտեղ նկատվում են անոմալիաներ նրանց մեխանիկական հատկություններում. ուստի վերոհիշյալ վերլուծությունը հաստատեց նաև այն ենթադրությունը, որ դիտվող փոխակերպումների պատճառը պետք է կապել այն փոխակերպումների հետ, որոնք առաջանում են իր իսկ տիտանի ստրուկտուրայում:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ И. И. Корнилов, ДАН СССР, 67, 6, 1037 (1949). ² И. И. Корнилов, Л. И. Прихина, Т. Ф. Чуйко, Изв. СФХА ИОИХ АН СССР, 19, 437 (1949). ³ И. И. Корнилов, В. С. Михеев, Т. С. Чернова, Справка об основных свойствах новых высокопрочных титановых сплавов Т-3, 1-4, Т-6, Т-8, Т-9, Т-10. Институт металлургии АН СССР, М., 1958. ⁴ В. Е. Микрюков, А. Г. Карагезян, Установка для исследования температурной зависимости теплопроводности, температуропроводности, электропроводности и термо-Э. Д. С. металлов и сплавов от 20° до плавления металла, М., ЦИТЭИН, 1959. ⁵ S. L. Ames and A. D. McQuillan, Acta metallurgica, 2, 831, 1954. ⁶ W. C. Michels and S. E. Wilford, Phys. Rev., 76, 174, 1949. ⁷ W. C. Polonis and S. G. Parr, Trans. Amer. Inst. min (metall), Engrs. 200, 1148, 1954; J. Metals. 6 (10), 1148, 1954. ⁸ G. Grube und O. Winkler, Z. F. Elektrochemie, 41, 52, 1935. ⁹ L. Anastasiadis und W. Guertler, Z. Metallkunde, 23, 189, 1931.