

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ТВЕРДОСТИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ДЕТАЛЯХ, РАБОТАЮЩИХ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Г. Д. ДЕЛЬ, Ф. Х. ТОМИЛОВ, Л. А. ПОЛИНОВСКИЙ

(Представлена научным семинаром лаборатории пластических деформаций)

При решении широкого круга задач, связанных с изучением напряженно-деформированного состояния пластически деформированного металла, используется связь между твердостью и интенсивностью напряжений [1, 2, 3]. Для расшифровки результатов замеров твердости применяется тарировочный график: интенсивность деформаций — ϵ_i , твердость — H , интенсивность напряжений — σ_i . График строится по результатам испытаний образцов из исследуемого материала на одноосное растяжение или сжатие. Независимость этой связи от вида напряженного состояния при обычных температурно-скоростных условиях пластического деформирования экспериментально установлена в работе [4], между тем в ряде практически важных случаев возникает необходимость определения напряжений в деталях, работающих при повышенных температурах. Примером могут служить оболочки барабанов котлов высокого давления, турбинные диски и т. д.

Барабаны котлов высокого давления работают при температуре 350°C в условиях длительного нагружения. Измерять твердость материала оболочки при рабочей температуре не представляется возможным, поэтому твердость на оболочке измеряется после ее остывания. При определении напряженного состояния вблизи отверстий барабанов котлов высокого давления методом измерения твердости возникает необходимость исследования влияния температуры и длительности нагружения на тарировочную зависимость.

Испытывались на растяжение плоские образцы из сталей 22К, 16ГНМ и 16ГНМА. Пластины из каждого материала изготавливались из одного листа. Образцы прошли совместную термообработку, отклонение исходной твердости для партии образцов из одного материала составило 3 единицы НВ. Испытания проводились при комнатной и рабочей (350°C) температурах на машине типа DST-5000. Образец прогревался в течение 30 мин при рабочей температуре, после чего производилось его плавное нагружение. Затем нагрузка снималась и образец охлаждался вместе с печью. Твердость остывших образцов измерялась в двух точках рабочей части на переносном твердомере ТШП-2 вдавливанием стального шарика диаметром 10 мм под нагрузкой 1000 кг. Этот же прибор применялся для замера твердости на оболочках котлов.

Каждый из образцов деформировался до различной степени деформации. После разгрузки определялась интенсивность напряжений σ_i и интенсивность деформаций ϵ_i .

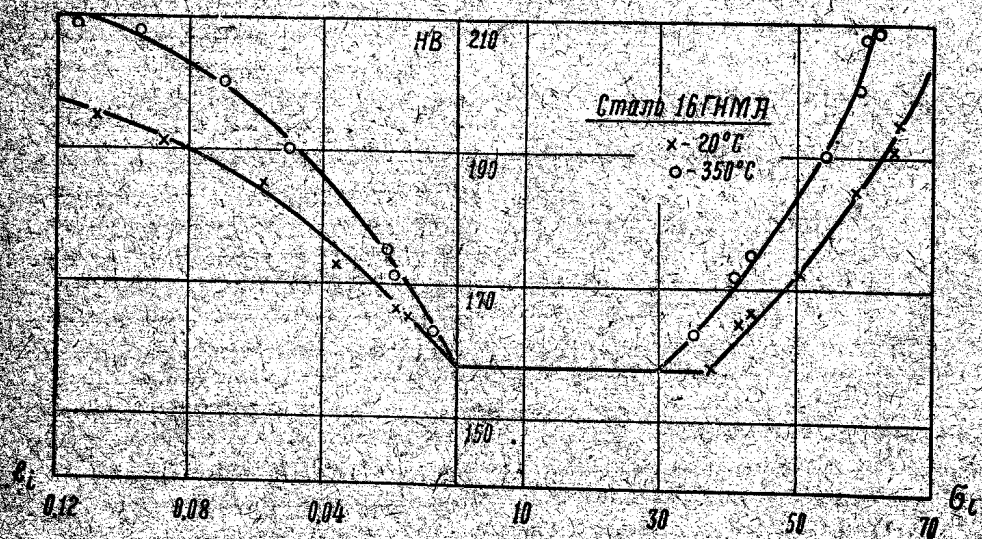
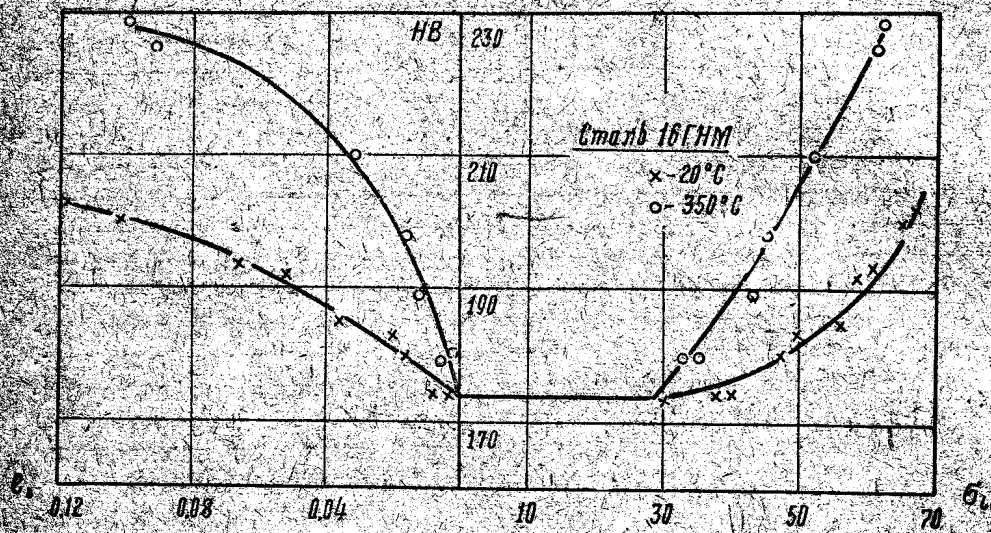
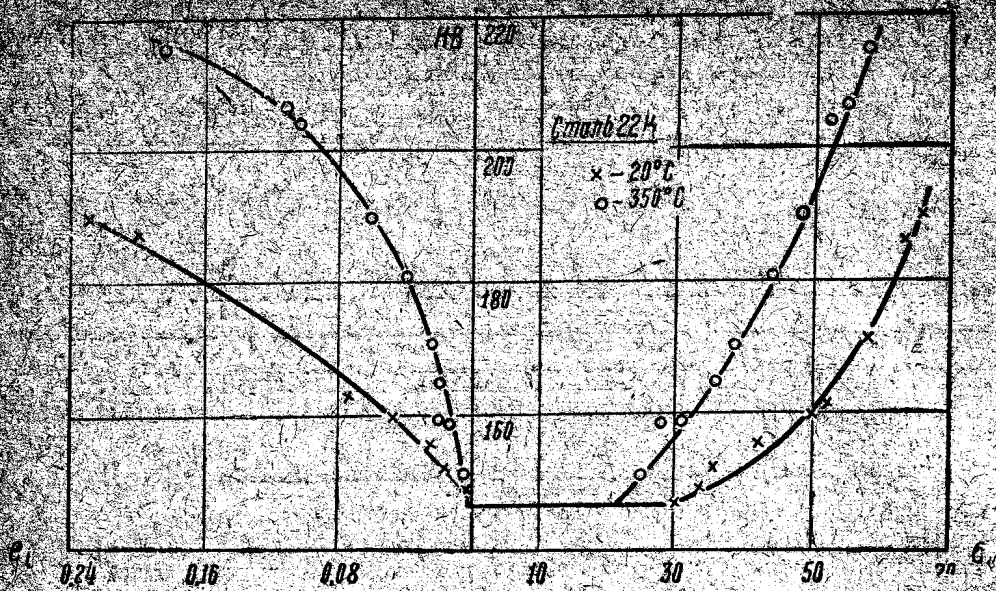


Рис. 1. Зависимость между интенсивностью деформаций e_1 — твердостью по Бринеллю HB и интенсивностью напряжений σ_1 при нормальной и повышенной температурах

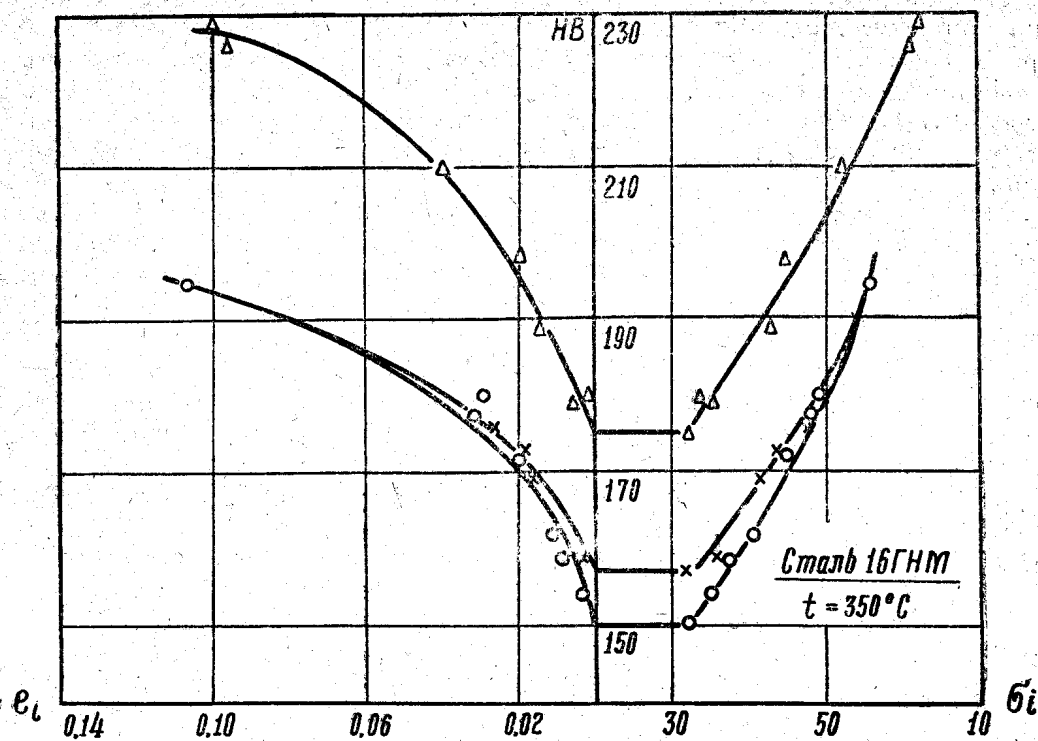


Рис. 2. Влияние отклонения исходной твердости на тарифовочную зависимость $e_l - H - \sigma_l$ для стали 16ГНМ при температуре 350°C

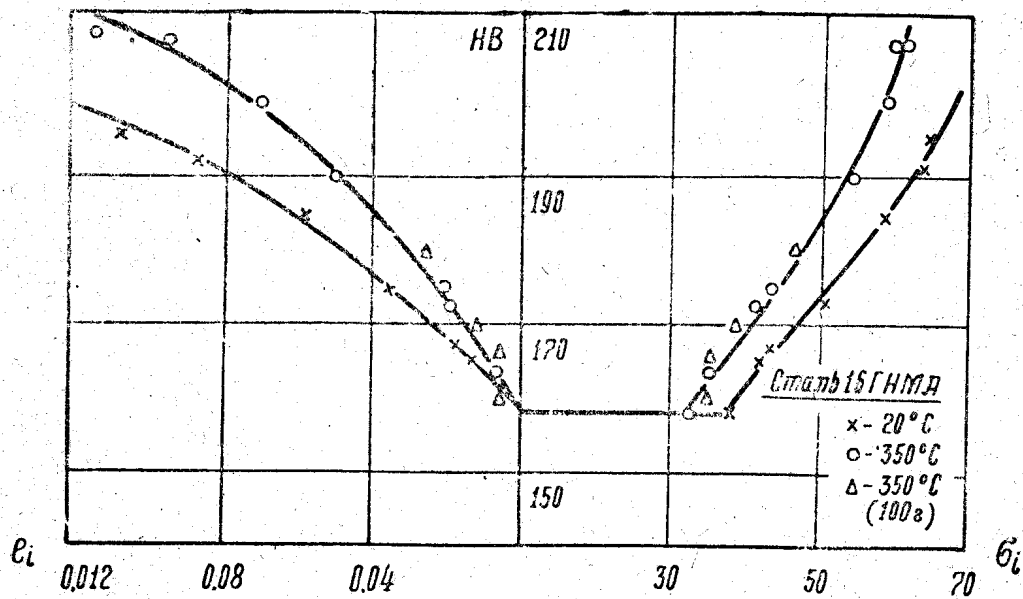


Рис. 3. Влияние длительности нагружения на тарифовочный график стали 16ГНМА при температуре 350°C

На рис. 1 представлены результаты испытаний. Начало упрочнения при испытании при температуре 350°C соответствует пониженному пределу текучести материала. При дальнейшем нагружении происходит более интенсивное по сравнению с испытанием материала при температуре 20°C повышение твердости, т. е. повышенная температура во время нагружения смещает тарировочный график $H - \sigma_i$ в зону меньших напряжений.

Получаем тарировочный график для материала с пониженными механическими свойствами. Независимость связи $e_i - H - \sigma_i$ от вида напряженного состояния экспериментально доказана для различных материалов [4]. Поэтому следует ожидать, что и при повышенной температуре эта связь будет единой.

Для определения интенсивности напряжений и деформаций по твердости в деталях, работающих при повышенной температуре, необходимо пользоваться тарировочным графиком, построенным по испытаниям при рабочей температуре.

Отклонение режимов термообработки материала оболочки и неоднородность химического состава приводит к разбросу исходной твердости, поэтому возникает необходимость оценить влияние исходной твердости на тарировочный график. Тарировочные графики для стали 16ГНМ, имеющей различную исходную твердость, приведены на рис. 2. Максимальное отклонение исходной твердости составило 25 единиц HV . Разброс исходной твердости ведет к смещению тарировочного графика. Поэтому необходимо строить тарировочный график по результатам испытаний образцов, изготовленных непосредственно из материала детали. В случае, если построить такой график не представляется возможным, то, располагая серией тарировочных графиков для исследуемого материала и исходной твердостью материала детали, можно построить приближенный тарировочный график.

Для установления влияния длительности нагружения на связь между твердостью и напряжением пластически деформированного металла были проведены опыты на 4-х образцах из стали 16ГНМА. Каждый образец выдерживался под нагрузкой при температуре 350°C в течение 100 часов. Результаты испытания приведены на рис. 3. Длительное нагружение продолжительностью до 100 часов практически не влияет на зависимость $e_i - H - \sigma_i$ и при построении тарировочных графиков может не учитываться.

Выводы

1. Для определения напряженного состояния по твердости в деталях, работающих при повышенной температуре, необходимо пользоваться тарировочным графиком, построенным по результатам испытаний образцов из материала детали при рабочей температуре.

2. Установлено, что длительное нагружение (до 100 часов) на тарировочную зависимость $e_i - H - \sigma_i$ не влияет и при построении тарировочного графика может не учитываться.

ЛИТЕРАТУРА

1. N. N. Zorew, G. D. Del, G. L. Kufarew, M. G. Goldschmidt. Spannungszustand in der Schnittzone. Annals of the C.J.R.P., vol XIV, 1967.
2. Г. Д. Дель, Б. П. Чебаевский. Концентрация напряжений в пластической области у кругового отверстия. Изв. вузов, «Машиностроение», № 11, 1968.
3. Г. Д. Дель, Э. С. Ваксман, В. А. Огородников. Напряженно-деформированное состояние при плоской и осесимметричной осадке. Изв. ТПИ, т. 183, 1968.
4. Г. Д. Дель. Твердость деформируемого металла. Изв. АН СССР, «Металлы», № 4, 1967.