

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТЕКУЧЕСТИ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ*

Гараников Валерий Владимирович

доктор технических наук, профессор

Тверской государственной технической университет
Тверь

Аннотация. В последнее время в машиностроении деформационную (размерную) стабильность оценивают характеристиками пластичности при кратковременном и длительном нагружении образцов. Особенностью этих характеристик является то, что используется очень малая величина остаточной деформации. Часто в качестве основной характеристики деформационной стабильности используется прецизионный предел текучести или сопротивление микротекучести. Эти показатели определяются напряжением, при котором после разгрузки образца возникает остаточная деформация $(1-2) \cdot 10^{-6}$. Одной из главных задач данного исследования было установление качественного и количественного влияния повышенной температуры на значение микротекучести.

Ключевые слова: микротекучесть, остаточная деформация, температура.

* Статья впервые была опубликована в сборнике научных трудов «2017 ГОД ГЛАЗАМИ УЧЕНЫХ: РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ», Краснодар, 2018, С. 74-80.

Испытания на ползучесть при повышенной температуре проводились на сплошных цилиндрических образцах с резьбовой головкой на сплавах Амг6, 01570, Al-19, и трубчатых образцах для металлокомпозита Al-B. Испытания проводились на машине FPZ-100/1 (рис. 1) в термостате (рис. 2), который предназначен для поддержания постоянной температуры образца при длительных механических испытаниях [2, с. 65].

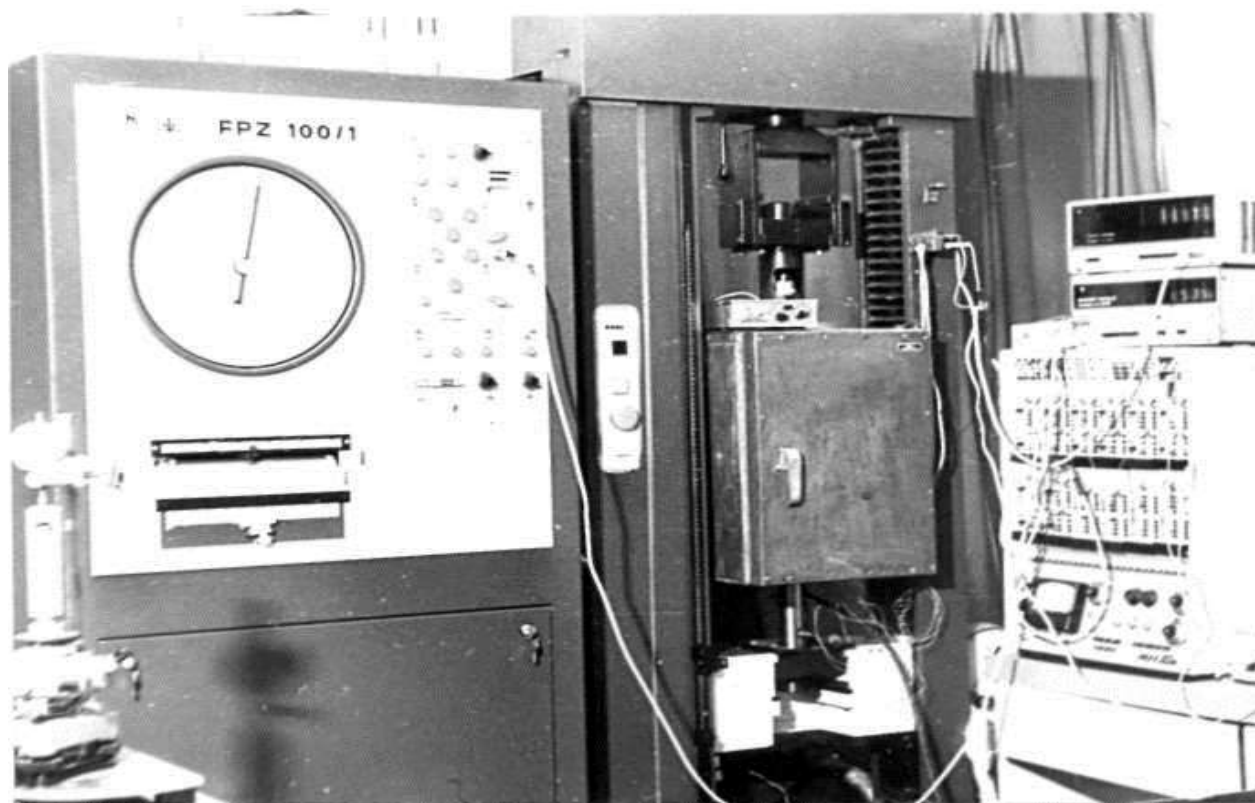


Рис. 1. Испытания на ползучесть при повышенной температуре

Верхний предел температуры для данного термостата составляет $+60^{\circ}\text{C}$. Отклонения от задания температуры $\pm 00.1^{\circ}\text{C}$.

Термостат состоит из электронного блока, датчика температуры, электронагревателя и вентилятора. При проведении испытаний образец помещается в камеру.

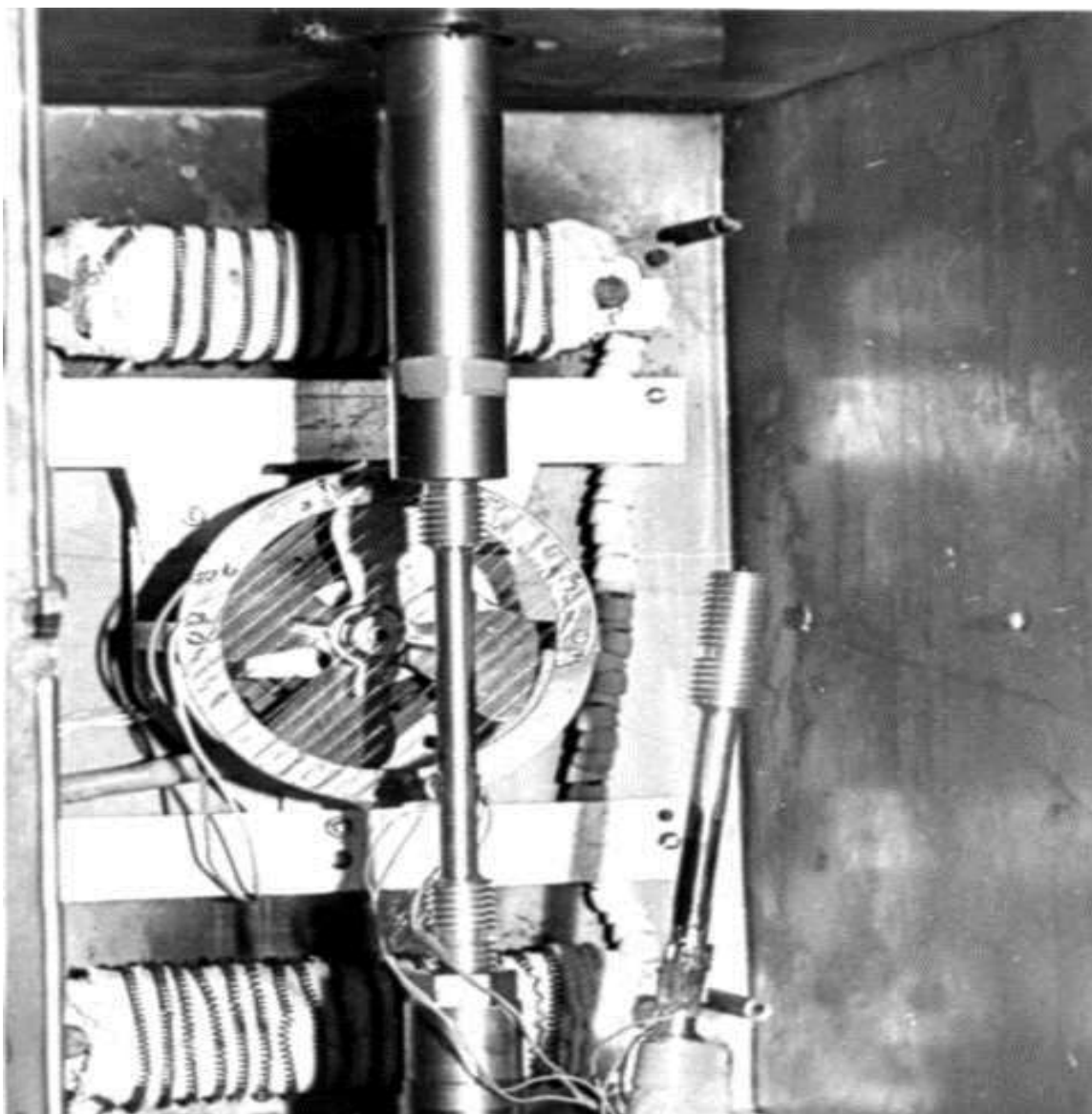


Рис. 2. Термостат

На стенке камеры установлен вентилятор, перед которым укреплен электронагреватель. Таким образом, воздушная струя проходит через нагреватель. Термостат поддерживает стабильную температуру воздуха во всем объеме камеры. Регулирование температуры осуществляется путем автоматического включения-отключения электронагревателя. Малая инерционность системы обеспечена: интенсивным перемешиванием воздуха с помощью вентилятора; применением малоинерционного электронагревателя и датчика температуры; рациональным взаимным расположением вентилятора, нагревателя и датчика температуры. Точность

поддержания температуры обеспечивается малой мощностью электронагревателя и чувствительной схемой измерения температуры. В качестве датчика температуры используется кремниевый транзистор КТ3102В в металлическом корпусе. Для измерения деформаций ползучести использованы тензорезисторы типа 5П1-20-400-А-12, которые наклеивались в среднем сечении образца. Данный тип тензорезисторов, согласно техническому паспорту, предназначен для измерения деформаций в интервале температур 100...+200⁰С. Сигналы, соответствующие напряжению и деформации, регистрировались на цифropечатающем устройстве.

Диаграммы растяжения σ - ϵ снимались на испытательной машине FPZ-100/1. Методика испытания описана ранее в подразделе 1.1. Индуктивный датчик для измерения деформаций на образец не устанавливался. Испытывались по три образца для каждого сплава.

Начальные участки усредненных диаграмм сплавов Амг6, 01570, Al-19 представлены на рис. 3. Полные усредненные диаграммы для металлокомпозита Al-B показаны на рис. 4. Штриховой линией показаны для сравнения соответствующие диаграммы при комнатной температуре. Для сплавов Амг6, 01570, Al-19 основные механические характеристики соответственно равны: модуль упругости $E = 71.4, 70.7, 69.0$ (10^3 Мпа); предел текучести $\sigma_{02} = 190, 278, 157$ (Мпа). Механические характеристики при повышенной температуре ($T = +50^0$ С) оказались несколько ниже, чем при комнатной температуре. Отличие составляет не более 5%. Повышенная температура практически не повлияла на диаграмму растяжения металлокомпозита Al-B. Расхождения между модулями упругости внутри каждой партии находится в пределах погрешности измерений. Цифрой 1 на рис. 4 отмечены результаты испытаний образцов первой партии, цифрой 2 – образцов второй партии.

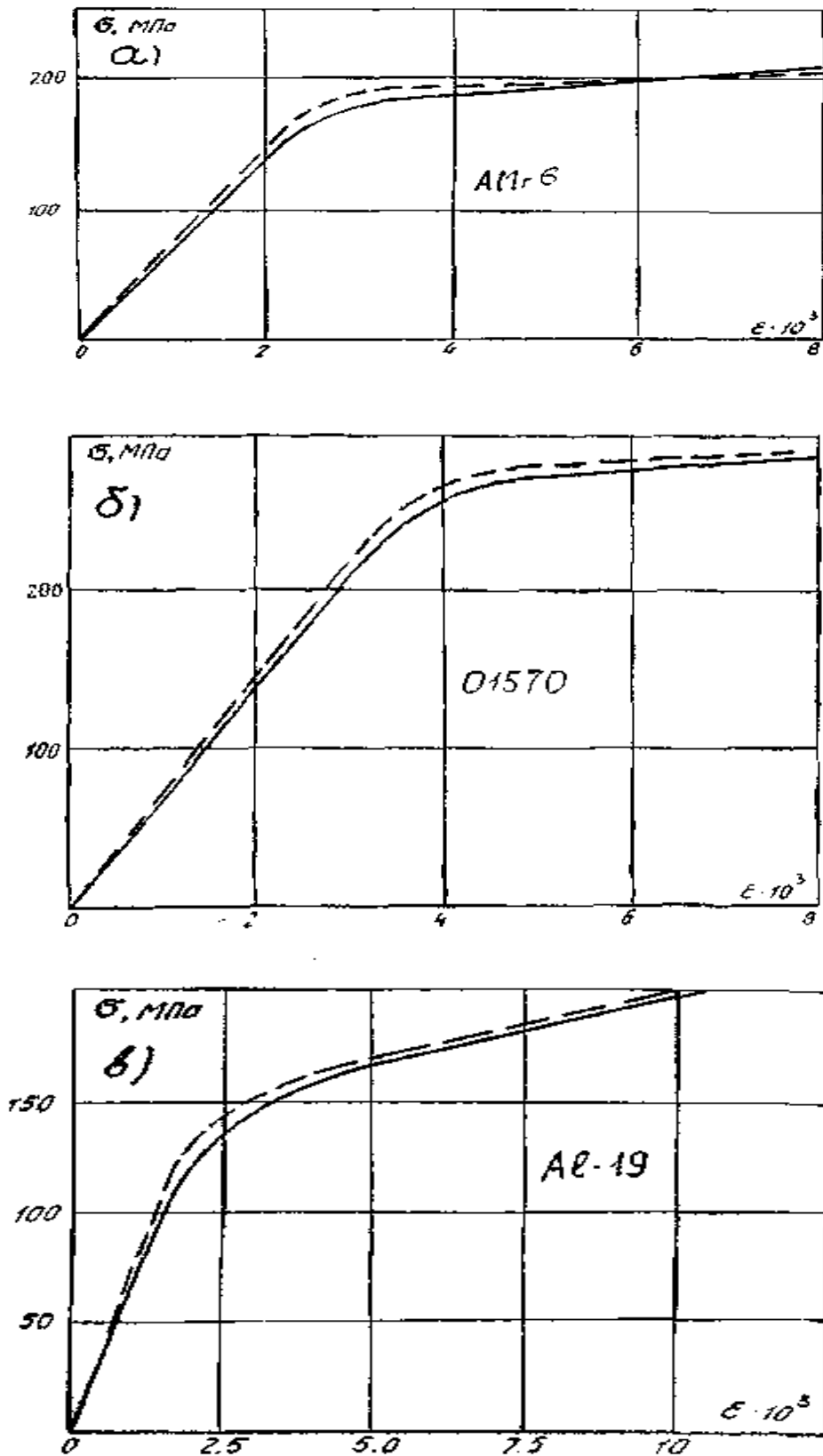


Рис. 3 Начальные участки диаграммы Al-19:
 а – Амг6, б – 01570, в – Al-19

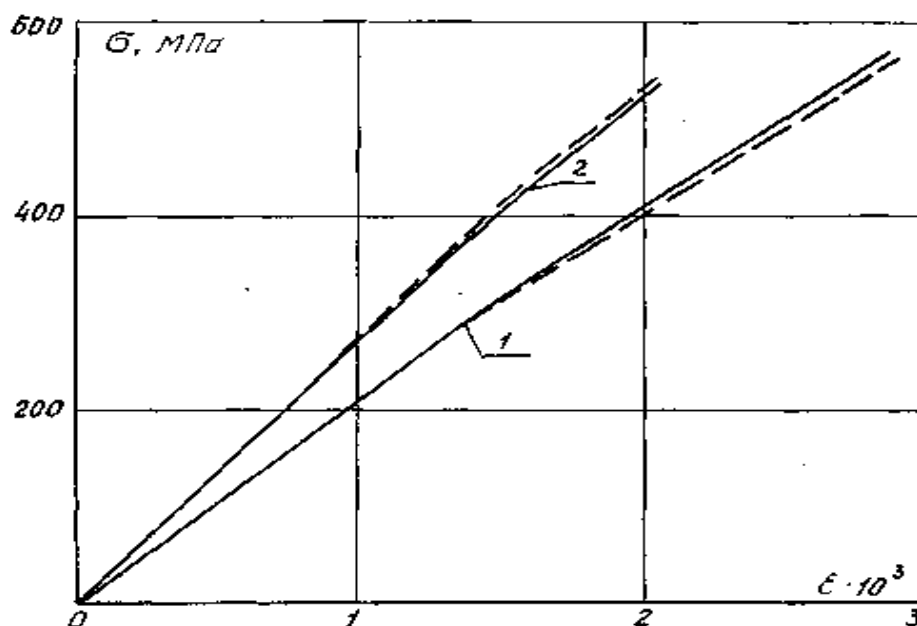


Рис. 4. Диаграмма растяжения металлокомпозита Al-B

Результаты испытаний на микротекучесть при повышенной температуре. Испытания при повышенной температуре начинались с напряжения, значение которого на ступень ниже уровня напряжения, когда обнаруживалась ползучесть в условиях комнатной температуры. Так как пределы текучести при повышенной и комнатной температуре отличаются незначительно (в пределах погрешности измерения), то уровень напряжения для всех испытаний устанавливался от предела текучести при комнатной температуре. Это также позволило сопоставить деформации микротекучести при одной и той же нагрузке для разных температур.

Результаты испытаний сплавов Амг6, 01570, Al-19 представлены на рис. 5а, б, в. Качественный вид полученных кривых ползучести такой же, что и при испытаниях в условиях комнатной температуры. Деформации ползучести возрастают с ростом напряжения и прекращаются через 1.3 часа при $\sigma=0.5\sigma_{02}$, 1.7 часа при $0.6\sigma_{02}$ и около 3.5 часов при $0.7\sigma_{02}$. Значения максимальной деформации ползучести несколько выше значений при комнатной температуре. На рис. 5 пунктирные линии соответствуют экспериментальным кривым ползучести, изображающим результаты исследования при комнатной температуре.

Для сплава Al-19 не удалось при уровне напряжений $0.5\sigma_{02}$ достоверно установить величину деформации микротекучести, поэтому на рис. 5в данная кривая ползучести не представлена. Кривые ползучести для металлокомпозита Al-B приведены на рис. 5г. Испытания программировались, в силу отмеченных ранее причин, не по напряжениям, а по нагрузкам. Для данного материала ползучесть обнаружена при нагрузках более 15кН ($\sigma = 124\text{Мпа}$). Ползучесть также носит ограниченный характер и прекращается через 1,2...1,4 часа при $P = 20...25$ кН и через 3...4 часа при $P = 30$ кН.

Для измерения деформаций использованы тензорезисторы типа 5П1-20-400-А-12 с базой 20 мм, которые наклеивались в среднем сечении образца. Технология наклейки тензорезисторов выполнялась согласно инструкции АЖВ2.782.001ТО. При этом испытательная машина работала в режиме постоянной скорости деформации [3, с. 20]. Машина имеет аналоговый выход с силоизмерителя и датчика перемещений. Сигналы, соответствующие напряжению и деформации, поступают на цифровой вольтметр Щ1413, регистрируются на цифropечатающем устройстве Ф5033К. В упругой области показания снимались через 10 с, в упругопластической через 1.5 мин [4, с. 35].

Необходимо отметить более пологий, чем для других сплавов, характер кривых ползучести. В начальный период скорость деформации ползучести ниже, чем скорости для других рассмотренных сплавов. Пунктирной линией показаны результаты испытаний при комнатной температуре. Деформации ползучести несколько выше деформаций, полученных при комнатной температуре. Исключение составляет испытание при нагрузке, равной 25 кН. Этот факт объясняется тем, что при комнатной температуре испытывался образец из другой партии, у которой модуль упругости значительно выше. Установление различия модулей упругости в двух партиях образцов произошло уже после испытаний при повышенной температуре в результате углубленного анализа полученных экспериментальных данных.

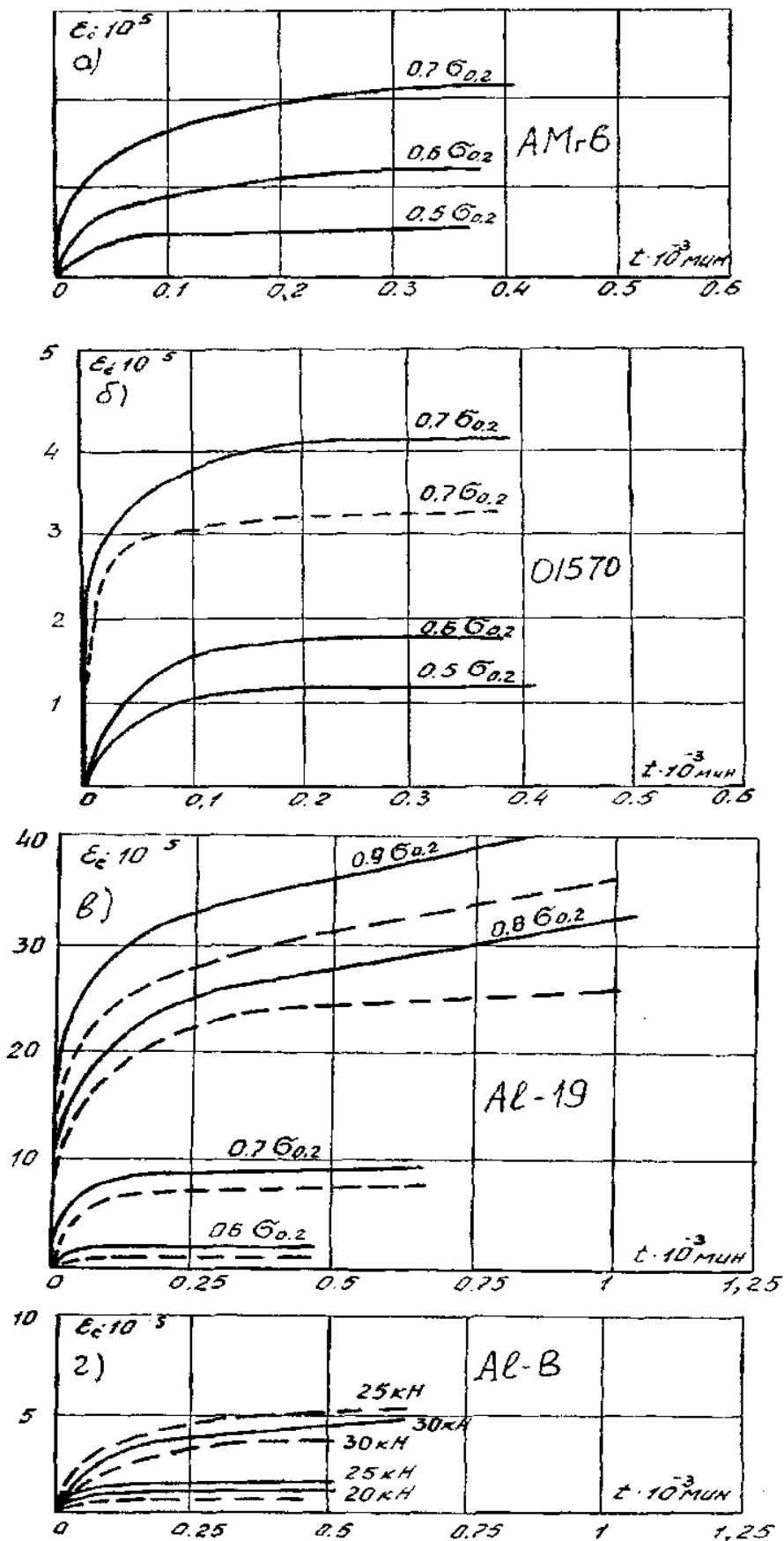


Рис. 5. Кривые микротекуцти при повышенной температуре:
 а – Амг6, б – 01570, в – Al-19, г – Al-B

Для более полного исследования микроползучести были расширены границы исследования. Все материалы испытывались на ползучесть до напряжений, равных пределу текучести. На рис. 6 представлена зависимость максимальной деформации ползучести от напряжения.

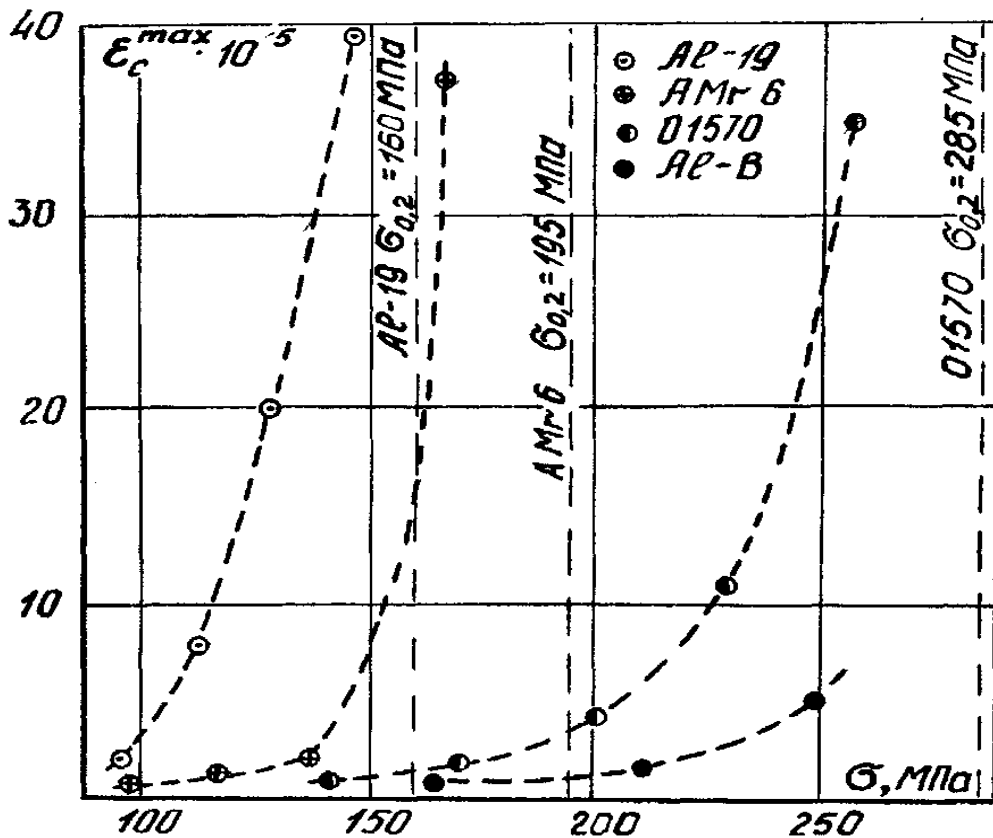


Рис. 6 Зависимость максимальной деформации микротекучести от уровня напряжений

Условными символами показаны усредненные экспериментальные точки. Видно, что деформация ползучести значительно возрастает при приближении к пределу текучести.

Список используемых источников

1. Хенкин М.Л. Размерная стабильность металлов и сплавов в точном машиностроении и приборостроении / М.Л. Хенкин, И.Х. Локшин. М.: Машиностроение, 1974. 255 с.
2. Зубчанинов В.Г. Модернизация испытательной машины FPZ/100 для исследования кратковременной ползучести / В.Г. Зубчанинов, В.В. Гараников, Ю.А. Котенков // Заводская лаборатория. 1991. № 2. С. 65-66.
3. Гараников В.В., Зубчанинов В.Г., Охлопков Н.Л. Экспериментальная пластичность. Кн. 1: Процессы сложного деформирования. Тверь: ТГТУ, 2003, 172 с.
4. Гараников В.В., Зубчанинов В.Г., Охлопков Н.Л. Экспериментальная пластичность. Кн. 2: Процессы сложного нагружения. Тверь: ТГТУ, 2004, 184 с.

Дата публикации: 15.10.2018

© Гараников Валерий Владимирович