

УДК 539.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОПОЛЗУЧЕСТИ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Назаров Максим Сергеевич
соискатель

Самусенко Дмитрий Евгеньевич
соискатель

Тверской государственный технический университет, Тверь
author@apriori-journal.ru

Аннотация. Приведены результаты экспериментальных исследований микроползучести конструкционных материалов 01570, АМг6, АІ-19 и металлокомпози́та АІ-В, используемых в конструкциях различного применения, при комнатной температуре. Представлены диаграммы растяжения данных сплавов. Подробно описана методика испытания на микроползучесть на машинах двух типов: рычажной (АИМА-5) и кинематической (FPZ-100).

Представленные результаты испытаний показывают, что микроползучесть обнаруживается при напряжениях, значительно меньших технического предела текучести ($0.5 \sigma_{0.2}$).

Ключевые слова: микроползучесть; растяжение сплавов; исследования; эксперименты; комнатная температура.

PILOT STUDIES OF MICROCREEP AT THE ROOM TEMPERATURE

Nazarov Maksim Sergeevich

post-graduate student

Samusenko Dmitry Evgenyevich

post-graduate student

Tver state technical university, Tver

Abstract. Results of pilot studies of microcreep of constructional materials 01570, AMr6, Al-19 and metalcomposite of Al-B used in designs of various application are given, at the room temperature. Charts of stretching of these alloys are submitted. The technique of test for microcreep by cars of two types is in detail described: lever (AIMA-5) and kinematic (FPZ-100).

The presented results of tests show that microcreep is found at a tension, considerably smaller a technical limit of fluidity.

Key words: microcreep; stretchings of alloys; researches; experiments; room temperature.

Введение

Сложность форм современных конструкций, повышение интенсивности воздействий приводят к неоднородности напряженно-деформируемого состояния, возникновению областей пластичности. Во многих случаях пластическое деформирование возникает в реальных технологических процессах. При этом в основном реализуются сложные процессы нагружения, в том числе с точкой излома.

2. Диаграмма растяжения

Испытания на растяжения проводились на кинематической машине FPZ-100/1. Размеры образцов и требования к точности изготовления регламентировались по ГОСТ 3248-91; 26007-93; 1493-83. При испытаниях металлокомпозита Al-B в качестве образцов использовались трубчатые элементы. Для крепления их в захватах испытательной машины на концах трубки были запрессованы законцовки из сплава АМг6. Разностенность в рабочей части образца для большинства образцов превышала 5 %, что, естественно, сказалось на результатах испытаний.

Испытанию подвергались образцы, изготовленные из сплавов: 01570, АМг6, Al-19 и металлокомпозит Al-B.

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. Кроме того, с целью увеличения достоверности результатов, в среднем сечении образца устанавливался индуктивный датчик перемещений, входящий в комплект машины, который позволяет измерять деформации с точностью 0.5 мкм, что составляет на базе измерения 50 мм – 10^{-5} единиц относительной деформации (е.о.д.). Расхождения показаний тензорезисторов и индуктивного датчика при стыковке диаграмм не превышали 2 %. Образец нагружался

со скоростью $2 \cdot 10^{-3}$ 1/мин. При этом испытательная машина работала в режиме постоянной скорости деформации. Машина имеет аналоговый выход с силоизмерителя и датчика перемещений. Сигналы, соответствующие напряжению и деформации, поступают на цифровой вольтметр Щ1413, регистрируются на цифропечатающем устройстве Ф5033К. В упругой области показания снимались через 10 сек., в упругопластической – 1...5 мин. Предел упругости и текучести определялся по остаточной деформации, равной соответственно 0.005 % и 0.2 %. Испытывались по три образца из каждого сплава.

На рис. 1 представлены начальные участки диаграммы σ - ϵ сплавов 01570 и АМг6. Полученные значения условного предела текучести (σ_{02}) были соответственно равны: для 01570 (320 °) – 268, 266, 264 (МПа); для 01570 (420 °) – 264, 263, 263 (МПа); для АМг6 – 186, 185, 184 (МПа). Различие пределов текучести для 1-ой и 2-ой партии составляет 2 % и лежит в пределах погрешности измерений. Поэтому, несмотря на то, что у сплава 01570 (420 °) получен несколько меньший предел текучести, чем у сплава 01570(320 °), для 1-ой и 2-ой партии принято одно значение $\sigma_{02} = 266$ МПа. Для АМг6 принят предел текучести $\sigma_{02} = 185$ МПа.

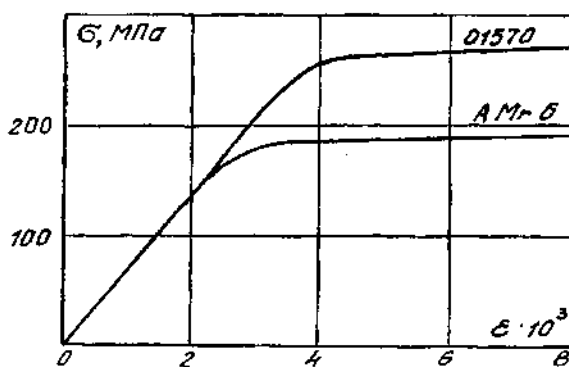


Рис. 1. Начальные участки деформирования сплава 01570, АМг6

2. Методика испытания на микроползучесть

Испытания проводились на машинах двух типов: рычажной (АИМА-5) и кинематической (FPZ-100). На кинематической машине испытывались образцы с цилиндрической головкой, на рычажной машине – образцы с резьбовой головкой.

Рычажная машина АИМА-5 позволяет испытывать одновременно два образца. Нагрузка задаётся грузами через систему рычагов с общим передаточным отношением 100:1. Деформации ползучести измеряются тензометрами с микронными индикаторами (с ценой деления 0.001 мм.) Таким образом, при длине рабочей части образца 100мм относительная деформация измеряется с точностью 10^{-5} е.о.д. Предварительные испытания выявили некоторые сложности измерения малых деформаций. Так при изменении температуры на один градус удлинение 100 миллиметрового образца составляет более двух микрон.

Измерительные тяги тензометра изготовлены из стали, коэффициент линейного расширения которой примерно в два раза меньше, чем у алюминиевых сплавов. При изменении температуры в помещении в пределах 5 °С, погрешность измерения деформации составит 5 мкм или $5 \cdot 10^{-5}$ е.о.д., что может превысить саму деформацию ползучести. В связи с этим в конструкцию тензометра были внесены изменения. С целью температурной компенсации в тяги тензометра сделаны сменные вставки из того же материала, что и испытываемый образец, длиной равной рабочей части образца. Неизбежные колебания и вибрации в помещении значительно сказывались на результатах испытаний. С целью устранения этих факторов и повышения достоверности опытов испытательная машина была установлена в изолированное помещение на отдельный фундамент. Показания с индикаторов снимались через каждые 10 минут в течение первого часа испытаний, далее через час в течение

10 часов, а затем через каждые 24 часа. При замере деформации регистрировалась температура воздуха в рабочей зоне машины.

Эксперименты на кратковременную ползучесть проводились на кинематической универсальной испытательной машине FPZ-100/1. Машина позволяет проводить испытания по различным программам нагружения и деформирования, в том числе испытания с поддержанием постоянной нагрузки. Точность поддержания нагрузки на FPZ-100/1 составляла 1 %, что не позволяла проводить достоверные испытания на ползучесть из-за скачкообразного характера регулирования. Колебания нагрузки сильно сказывались на кривых ползучести. Поэтому была разработана система непрерывного регулирования нагрузки, т.е. в режиме стабилизации траверса перемещается постоянно со скоростью пропорциональной скорости ползучести образца. Для этого внесены некоторые изменения в систему автоматики машины. Собран регулятор на трех операционных усилителях, реализующих пропорциональный закон регулирования. На входе регулятора сравниваются текущее значение нагрузки, показываемое силоизмерителем машины ($U_{вх}$), и задаваемая нагрузка ($U_{зад}$). Сигнал рассогласования, усиленный в 100 раз, подается на имеющуюся в машине систему стабилизации скорости траверсы в качестве задания скорости. Таким образом, траверса движется со скоростью, пропорциональной сигналу рассогласования. Величина $U_{зад}$ рассчитывается исходя из того, что максимальному значению нагрузки выбранного диапазона измерения соответствует напряжению 10 В. Описанная система позволяет поддерживать постоянную нагрузку с отклонениями не более 0.01 % от выбранного диапазона в течение длительного времени.

3. Результаты испытаний образцов на машине АИМА-5

Исходной задачей данных экспериментов являлось выявление минимального уровня напряжений, при котором обнаруживается микроползучесть. При уровнях напряжений ($\sigma = 0.1 \cdot \sigma_{02}$, $\sigma = 0.2 \cdot \sigma_{02}$, $\sigma = 0.3 \cdot \sigma_{02}$) деформации ползучести не обнаружены. При напряжении $\sigma = 0.3 \cdot \sigma_{02}$ время испытания для образцов из сплава 01570 составляло – 720 часов, а для АМг6 – 400 часов. В связи с этим были расширены границы исследований. Испытания показали, что ползучесть начинает проявляться при напряжениях выше $\sigma = 0.7 \cdot \sigma_{02}$. Результаты испытаний образцов сплава АМг6 – рис. 2. В виду того, что отличия в деформациях ползучести у образцов 1-ой и 2-ой партии не прослеживаются, в дальнейшем не делается разделение по партиям в зависимости от термообработки. На кривых ползучести, рядом с экспериментальными точками, проставлена температура в окрестности рабочей зоны машины, в момент замера деформаций. Анализ графиков показывает, что с ростом температуры значительно возрастает скорость деформации ползучести. Существенное влияние оказывает изменение температуры даже на (1-2) °С. В случае, когда температура испытания не менялась получены плавные кривые ползучести без видимых скачков.

Установить количественную зависимость скорости деформации от температуры на данном этапе исследования не представляется возможным, для этого необходимы специальные эксперименты. Ползучесть на исследуемых уровнях напряжений носит ограниченный характер, причем с ростом уровня напряжений увеличивается время прекращения ползучести (t). В экспериментах на сплаве 01570 t менялось от 20 до 216 часов, на сплаве АМг6 – 40-100 часов. Отклонения t в некоторых экспериментах объясняется изменением температуры испытаний.

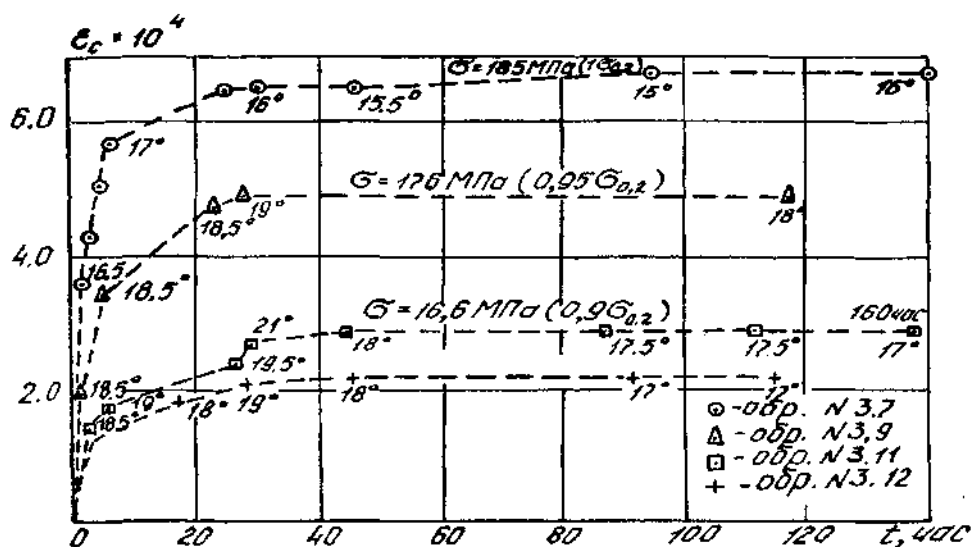
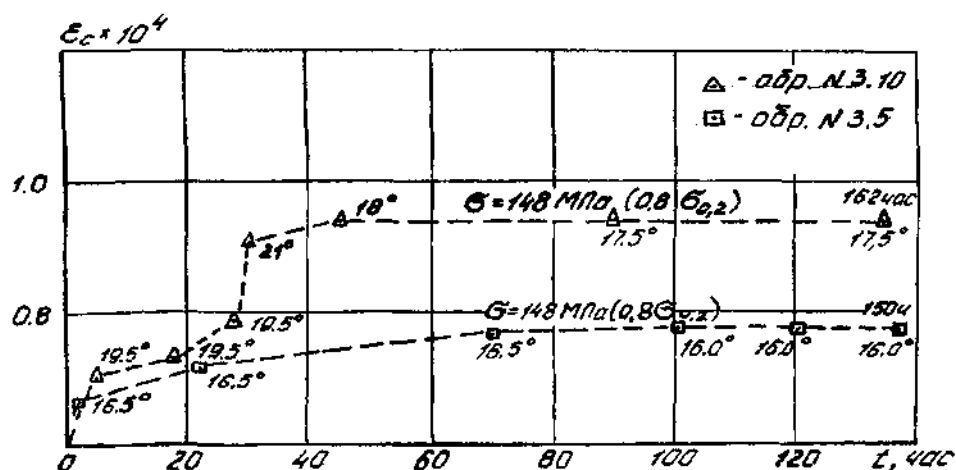


Рис. 2. Кривые ползучести сплава АМг6 (АИМА-5)

При ступенчатом приложении нагрузки, что соответствует очень медленной скорости нагружения, ползучесть обнаруживается при более высоком уровне напряжений, чем при однократном испытании.

Основной величиной, характеризующей полученные кривые ограниченной ползучести можно считать лишь $\epsilon_c^{\max}$. Зависимость максимальной деформации ползучести от уровня напряжений при комнатной температуре изображена на рис. 3. Видно, что одинаковые деформации ползучести возникают у сплава 01570 при напряжениях в 1.5 раза больших, чем у сплава АМг6.

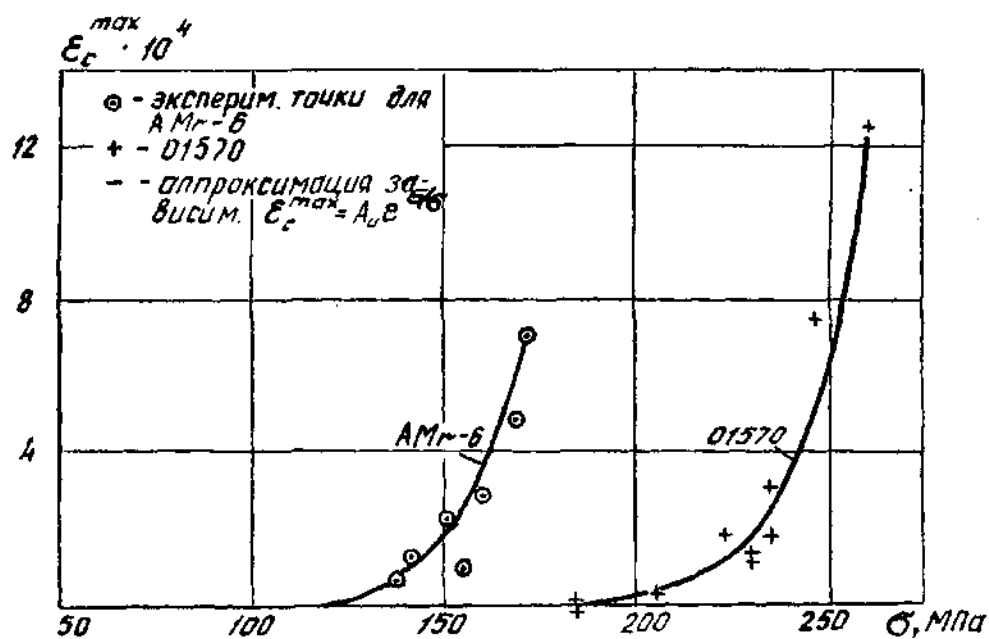


Рис. 3. Зависимость максимальной деформации микроползучести от уровня напряжений

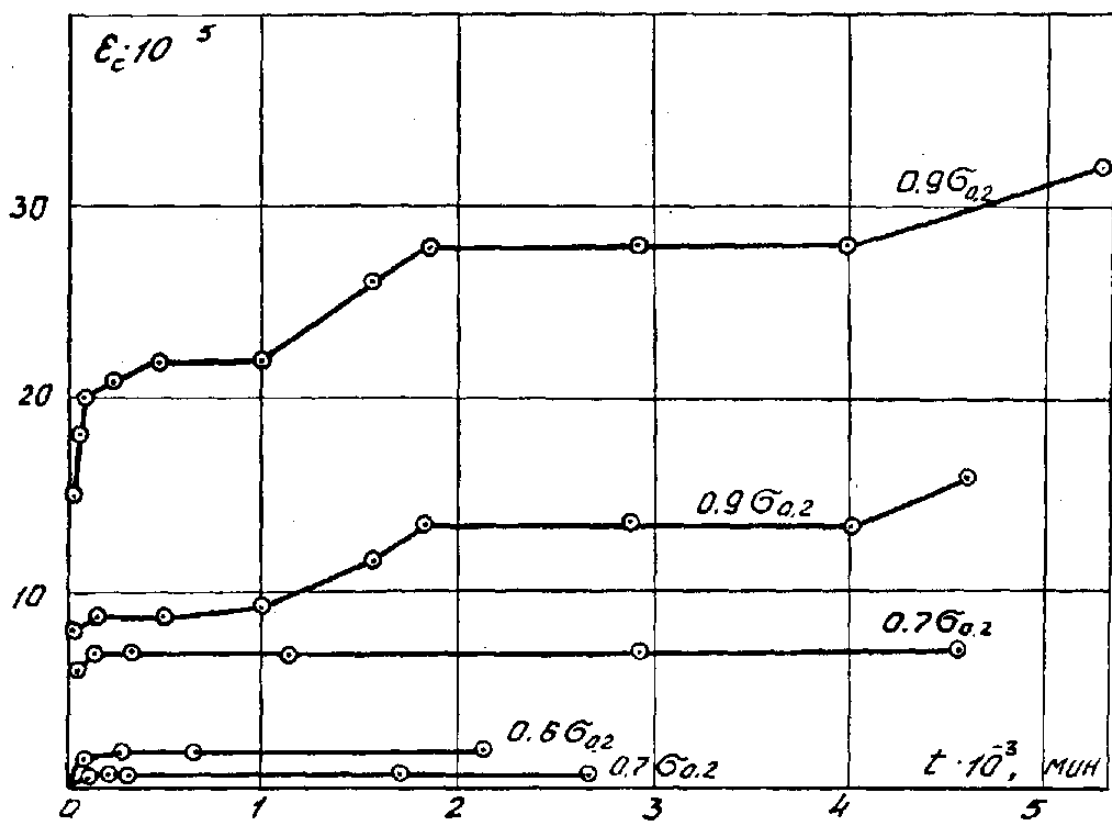


Рис. 4. Кривые микроползучести сплава Al-19 (АИМА-5)

При испытании сплава Al-19 на машине АИМА-5 деформация ползучести обнаружена при уровне напряжений $\sigma = 0.6 \cdot \sigma_{02}$. Результаты испытания приведены на рис. 4. Анализ графиков указывает на большой разброс результатов по деформациям. Это обстоятельство, на наш взгляд, можно объяснить двумя причинами. Во-первых, испытания на одноосное растяжение, с целью получения диаграммы растяжения, показали некоторую нестабильность механических свойств сплава Al-19. Диаграммы для некоторых образцов за пределом упругости значительно отличались.

Данное различие увеличилось с повышением уровня напряжений при испытаниях на ползучесть. Во-вторых, на данной рычажной машине нагружение образца происходит через систему рычагов грузами вручную. Поэтому трудно осуществлять нагружение образцов с одной и той же скоростью. В первые минуты испытаний деформации ползучести невозможно точно фиксировать индикатором часового типа. На результаты испытания также повлияли колебания температуры помещения, где установлена испытательная машина. Тем не менее можно констатировать, что при данных уровнях напряжений ползучесть носит ограниченный характер. Кроме того, по полученным результатам можно установить максимальную деформацию ползучести ($\epsilon_c^{\max}$).

4. Результаты испытания на машине FPZ-100/1

Испытательная машина FPZ-100/1 позволяет проводить испытания по различным программам нагружения и деформирования, в том числе и в режиме поддержания постоянной нагрузки. Точность поддержания нагрузки, после проведенной модернизации, составила 0.01 %. Тем не менее, квазидинамический характер поддержания нагрузки (включения двигателя после незначительного падения силы) вызывает появление деформаций ползучести несколько превышающих деформации, полученные при тех же

усилиях, в эксперименте на АИМА-5. Кроме того, машина FPZ-100/1 снабжена индуктивным датчиком перемещений с большей разрешающей способностей, чем индикаторы часового типа (АИМА-5).

В связи с отмеченными особенностями, были зафиксированы деформации ползучести при меньших уровнях напряжений, чем в испытаниях на машине АИМА-5. Результаты испытаний по сплавам 01570 и АМг6 представлены на рис. 5.

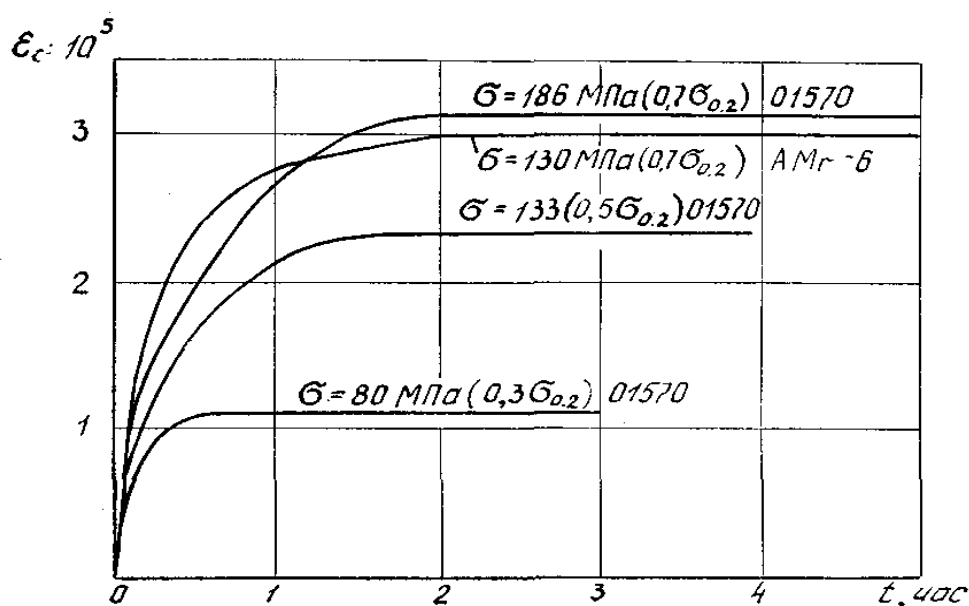


Рис. 5. Кривые микроползучести сплавов 01570, АМг6(FPZ-100/1)

Полученные кривые ползучести имеют тот же вид, что и при испытаниях на рычажной машине. Деформации ползучести возрастают с ростом напряжений и прекращаются через 0,6 часа при $\sigma = 0,3 \cdot \sigma_{0,2}$, 1,7 часа при $\sigma = 0,5 \cdot \sigma_{0,2}$, 0,2 часа $\sigma = 0,7 \cdot \sigma_{0,2}$. При уровне напряжений $0,2 \cdot \sigma_{0,2}$ о наличии ползучести не позволяет судить величина дрейфа измерителя деформации. Так же, как и в испытаниях на АИМА-5, для образцов 01570 и АМг6 при одинаковом отношении $\sigma / \sigma_{0,2}$ получены близкие значения максимальной деформации ползучести ($\epsilon_c^{\max}$).

Результаты испытаний сплава Al-19 и металл композита Al-B соответственно представлены на рисунках 6,7.

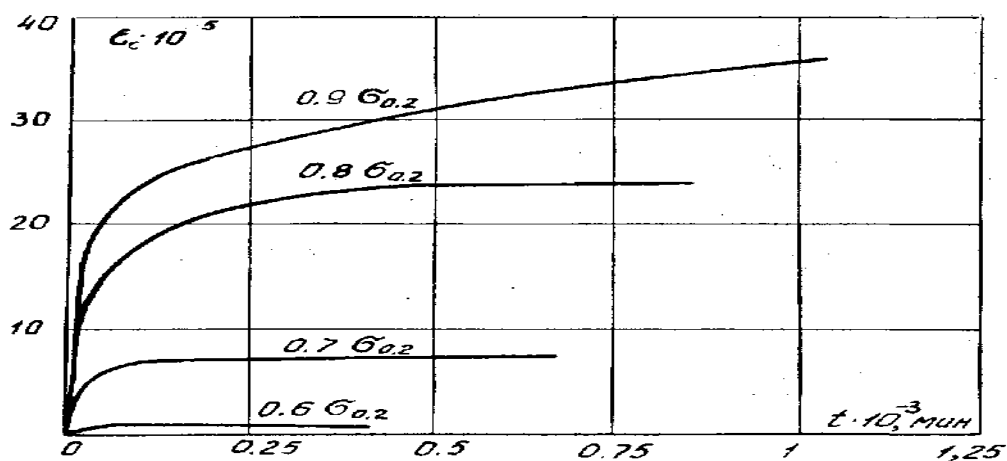


Рис. 6. Кривые микроползучести сплавов Al-19(FPZ-100/1)

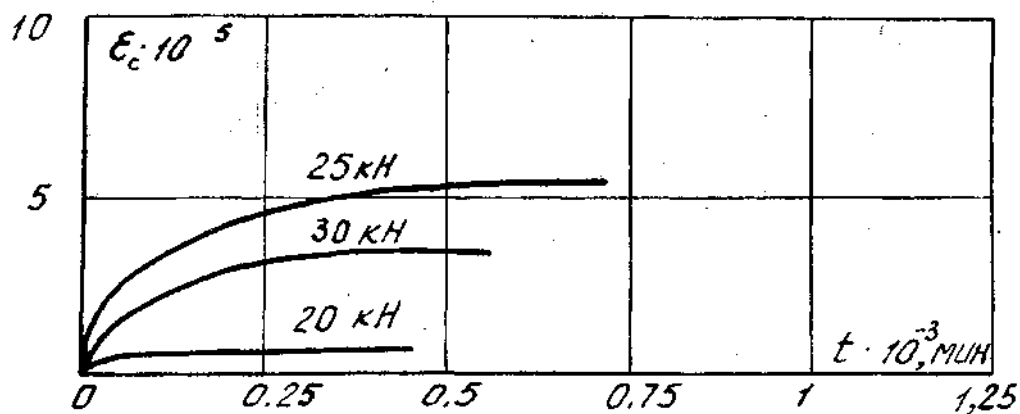


Рис. 7. Кривые микроползучести металлокомпозита Al-B(FPZ-100/1)

Полученные кривые ползучести имеют тот же вид, что и при испытаниях на рычажной машине. Деформации ползучести возрастают с ростом напряжений и прекращаются для сплава Al-19 через 0.8 часа при $\sigma = 0.6 \cdot \sigma_{0.2}$ и 1.7 часа при $\sigma = 0.7 \cdot \sigma_{0.2}$. При уровне напряжений $\sigma = \sigma_{0.2}$ из-за большой длительности испытаний ($t > 24$ часа) выйти на участок ограниченной ползучести не удалось. Деформации ползучести металлокомпозита Al-B значительно меньше, чем у других сплавов. При данной погрешности измерения ($1 \cdot 10^{-5}$ е.о.д.) достоверно зафиксировать появление ползучести удалось при нагрузке 20 кН и более.