

УДК 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТЕКУЧЕСТИ ПРИ ПОНИЖЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Гараников Валерий Владимирович

д-р тех. наук
Тверской государственной технической университет, Тверь

author@apriori-journal.ru

Аннотация. В последнее время в машиностроении деформационную (размерную) стабильность оценивают характеристиками пластичности при кратковременном и длительном нагружении образцов. Особенностью данных характеристик является то, что используется очень малая величина остаточной деформации. Эти характеристики проявляются как при повышенных температурах, так и при пониженных температурах. Часто в качестве основной характеристики деформационной стабильности используется прецизионный предел текучести или сопротивление микротекучести [1; 2]. Эти показатели определяются напряжением, при котором после разгрузки образца возникает остаточная деформация $(1-2) \cdot 10^{-6}$.

Ключевые слова: микротекучесть; остаточная деформация; пониженная температура; прецизионный предел текучести.

STUDY OF MICRO FLUIDITY AT A REDUCED TEMPERATURE

Garanikov Valery Vladimirovich

doctor of technical sciences
Tver Technical University, Tver

Abstract. Recently, mechanical deformation (dimensional) stability characteristics of plasticity evaluated at short-term and long-term loading of the samples. A feature of these characteristics is that it uses a very small quantity of residual deformation. These characteristics are shown as at high temperatures and at lower temperatures. Often, as the main characteristics of the deformation stability, It is used precision to yield strength or resistance to micro flow [1; 2]. These rates are determined by the voltage at which the sample occurs after unloading the residual strain $(1-2) \cdot 10^{-6}$.

Key words: micro flow; permanent deformation; low temperature; high-precision to yield strength.

Методика испытания образцов при пониженной температуре

Испытания на микротекучесть при пониженной температуре ($T = -50^{\circ}\text{C}$) проводились на образцах двух типов: цилиндрические сплошные для сплавов Амг6, 01570, Al-19 и трубчатые для металлокомпозита Al-B [2].

Образцы испытывались на кинематической машине FPZ-100/1 в устройстве для глубокого охлаждения (рис. 1).

Рабочие температуры устройства, при использовании в качестве теплоотводящей жидкости этилового спирта, составляют $+20 \dots -80^{\circ}\text{C}$. Время охлаждения до -60°C – 1 час. Колебания температуры в процессе регулирования $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Понижение температуры при испытаниях в данном

устройстве осуществляется испарением жидкого азота. Охлаждение передается к образцу от испарителя через теплоотводящую жидкость, в которую погружены образец и испаритель. Теплоотводящей жидкостью при заданной температуре служит этиловый спирт. Регулирование температуры производится автоматически путем подачи или прекращения подачи жидкого азота. Устройство глубокого охлаждения состоит из:

- охладительной ванны (рис. 2), которая устанавливается на подвижной траверсе испытательной машины;
- сосуда Дьюара с электромагнитным клапаном и перепускным шлангом, которые служат для хранения жидкого азота и регулирования его подачи в охладительную ванну;
- регулирующего прибора с ПИД-регулятором.

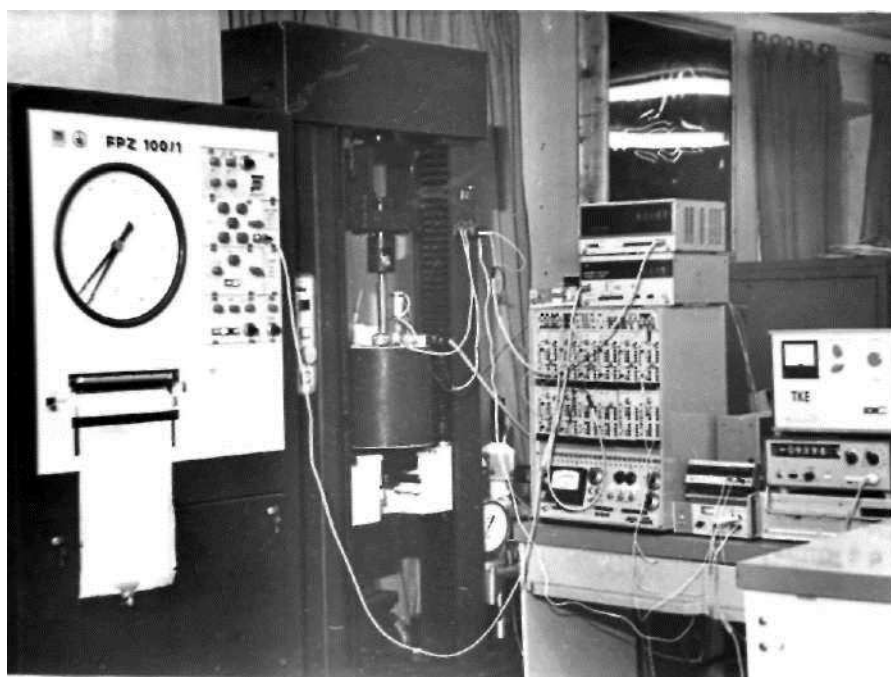


Рис. 1. Испытания при пониженной температуре

Устройство работает следующим образом. Образец с резьбовыми головками закрепляется в охладительной ванне, где находится испаритель азота и платиновое термосопротивление для измерения температуры. Ванна заполняется спиртом. Сосуд Дьюара соединен с охлади-

тельной ванной перепускным шлангом. Находящийся в сосуде электронагреватель создает напор, необходимый для подачи азота в испаритель. Электромагнитный клапан открывает или прекращает подачу жидкого азота. Запланированная в эксперименте температура устанавливается потенциометром задания регулирующего прибора. Азот подается в испаритель непрерывно, пока не будет достигнута заданная температура, затем она автоматически регулируется путем открывания-закрывания электромагнитного клапана. Датчиком температуры служит находящееся в ванне платиновое термосопротивление. Для равномерного охлаждения образца теплоотводящая жидкость приводится в движение постоянно работающей мешалкой.

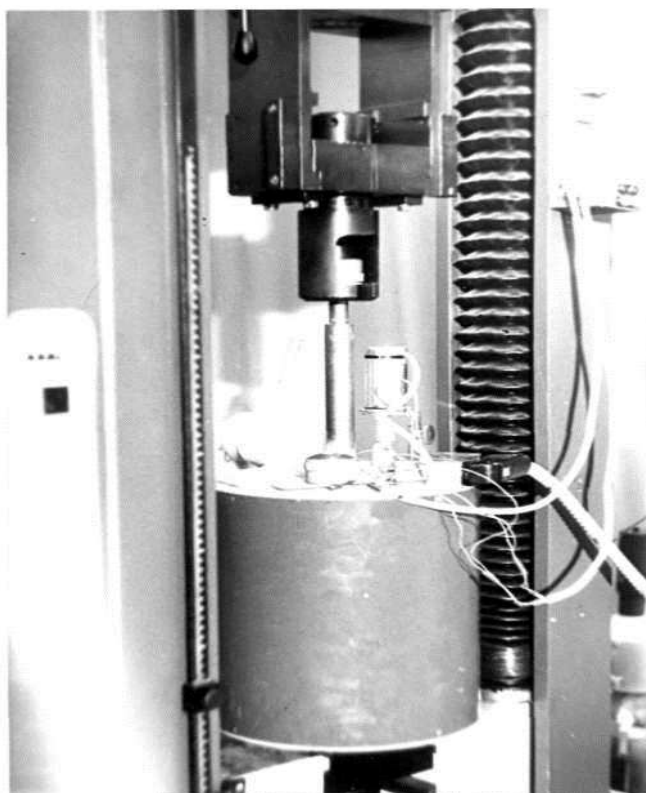


Рис. 2. Охладительная машина

Для измерения деформации использованы тензорезисторы типа 5П1-20-400-А-12, которые наклеивались в среднем сечении образца. Тензорезисторы и выводы от влагосодержащей среды покрывались

клеем БФ-2 с последующей термообработкой при температуре +150°С в течение 10 часов. Деформации с определенным интервалом времени регистрировались на цифropечатающем устройстве.

Диаграммы растяжения сплавов Амг6, 01570, Al-19 и металлокомпозита Al-19 при пониженной температуре

Испытания на растяжение с целью получения диаграммы σ – ϵ , проводились на машине FPZ-100/1 в устройстве для глубокого охлаждения. Скорость нагружения образца была такой же, как и при испытаниях в условиях комнатной и повышенной температуры. Она составляла $2 \cdot 10^{-3}$ 1/мин. Испытательная машина работала в режиме постоянной скорости деформации. В процессе испытания через равный промежуток времени регистрировались усилие и деформация. В каждой партии испытывалось до трех образцов. Результаты испытаний представлены на рис. 3. Штриховой линией показаны диаграммы при комнатной температуре, штрихпунктирной – при повышенной. Механические характеристики для исследуемых материалов при пониженной температуре несколько выше, чем при комнатной и повышенной температуре. Их численные значения для сплавов Амг6, 01570, Al-19 соответственно равны: модуль упругости $E = 73,5; 73,4; 72,0$ (10^3 Мпа); предел упругости $\sigma_{0,005} = 178, 235, 124$ (Мпа); предел текучести $\sigma_{02} = 195, 278, 167$ (Мпа).

Диаграммы растяжения сплавов Амг6, 01570 при низкой температуре почти совпадают с соответствующими при комнатной температуре. В силу малого количества образцов из металлокомпозита Al-B для получения диаграммы деформирования при низкой температуре испытывался только один образец. Данный образец принадлежал к партии, материал которой имел больший модуль упругости (вторая партия). Для данного образца модуль упругости получился равным $286,7 \cdot 10^3$ Мпа, что на 4,8% больше аналогичной характеристики для образцов, испытанных в условиях комнатной температуры. При напряжениях, больших 180 Мпа

(нагрузка 20 кН), наблюдается тенденция к отклонению от начальной прямой диаграммы деформирования.

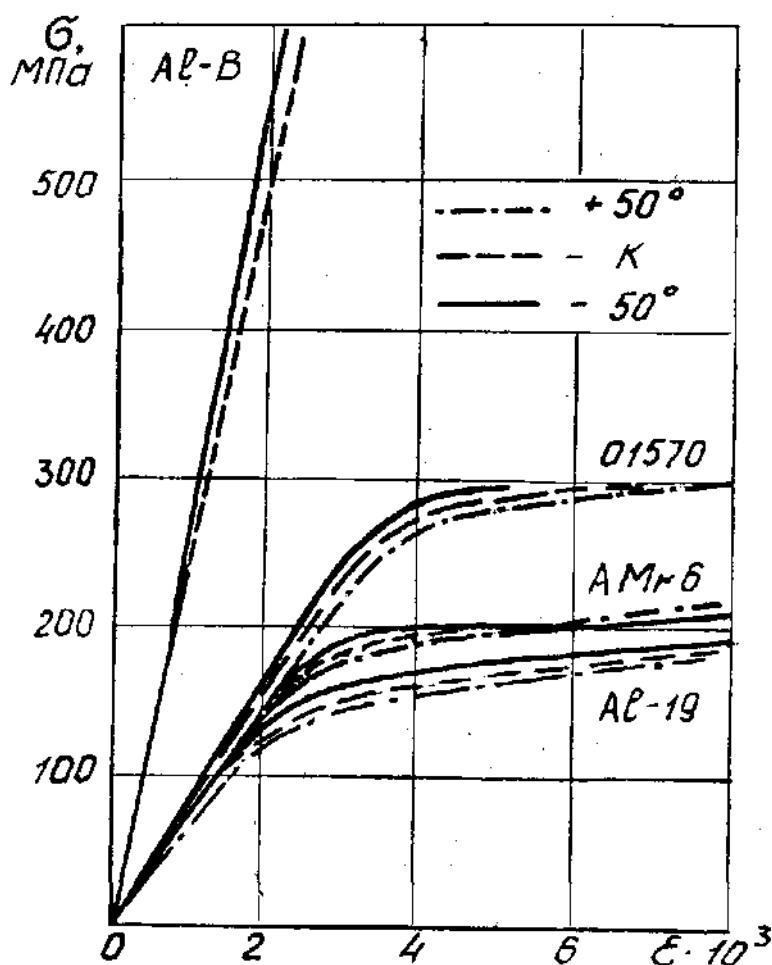


Рис. 3. Диаграммы деформирования при пониженной температуре

Результаты испытания на микротекучесть при пониженной температуре

Все испытания были проведены при температуре -50°C . Данные испытания выявили несколько большую нестабильность автоматического поддержания температуры, чем указана в паспорте испытательной машины FPZ-100/1. Колебания температуры достигали $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Поэтому в процессе испытаний заданная температура поддерживалась вручную, что заметно увеличило трудоемкость и уменьшило достоверность полученных результатов.

Испытания на ползучесть были проведены при тех же уровнях напряжений, что и в условиях комнатной температуры. На рис. 4 представлены результаты испытания на микроползучесть данных материалов, на рис. 4а, б – сплав Амгб и 01570, на рис. 4в, г – сплав Al-19 и Al-B. На графиках сплошной линией показаны кривые ползучести при пониженной температуре, штриховой – при комнатной, штрихпунктирной – при повышенной.

Деформации микротекучести при пониженной температуре несколько меньше деформаций в условиях комнатной и повышенной температуры при одинаковых уровнях напряжений. Для сплавов Амгб и 01570 ползучесть обнаружена только при уровне напряжения $\sigma = 0.6\sigma_{0.2}$, а для сплава Al-19 – $\sigma = 0.7\sigma_{0.2}$. Изменился также характер кривых ползучести.

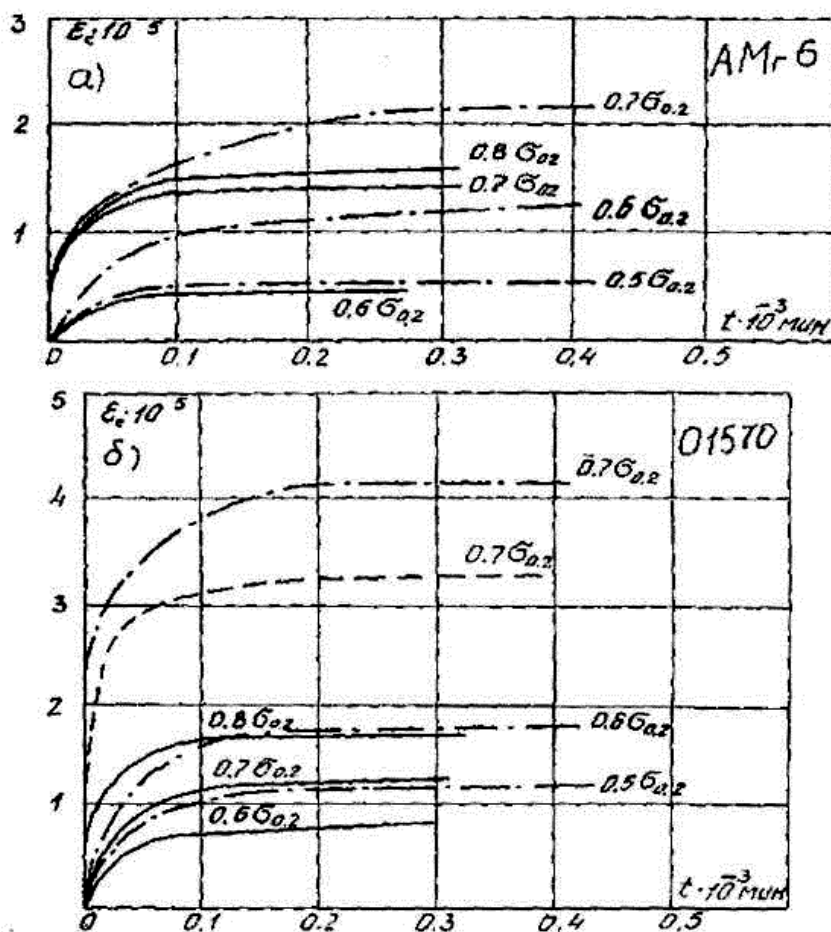


Рис. 4 а, б. Кривые микротекучести при пониженной температуре

На первой стадии ползучести скорость ее деформации значительно выше, чем в условиях других температур. Соответственно, время прекращения ползучести на исследуемых уровнях напряжений уменьшилось и, как правило, при испытаниях не превышало одного часа. Пониженная температура повлияла также на результаты испытания на ползучесть металлокомпозита Al-B. Так, для уровня нагрузки 30 кН (265 Мпа) максимальная деформация ползучести уменьшилась в два раза, а время прекращения ползучести – в десять раз по сравнению с результатами испытаний в условиях комнатной температуры.

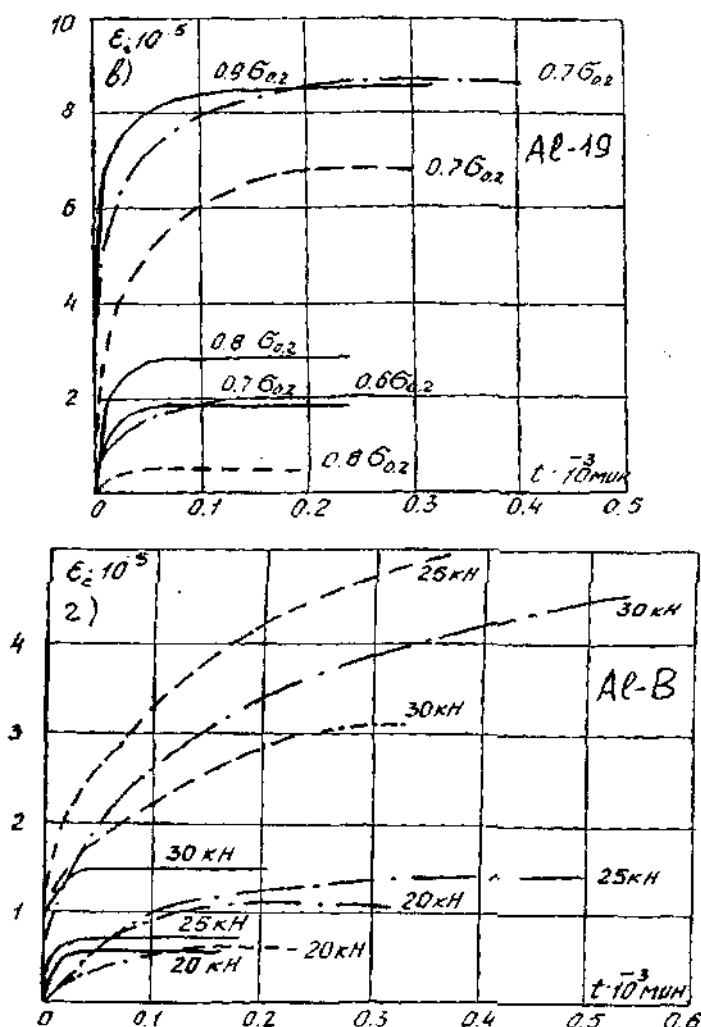


Рис. 4 в, г. Кривые микротекучности при пониженной температуре

Обобщающие зависимости максимальной деформации ползучести от температуры представлены на рис. 5. Условными символами показаны экспериментальные результаты максимальной деформации ползучести под влиянием температуры для сплавов Амг6, 01579, Al-19, Al-B. Температура оказывает наиболее сильное влияние на ползучесть сплава Al-19. Так, например, для $\sigma = 0.7\sigma_{0.2}$ деформации ползучести при изменении температуры в диапазоне от -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$ увеличилась в четыре раза. Менее чувствительны к изменению температуры сплавы Амг6 и 01570.

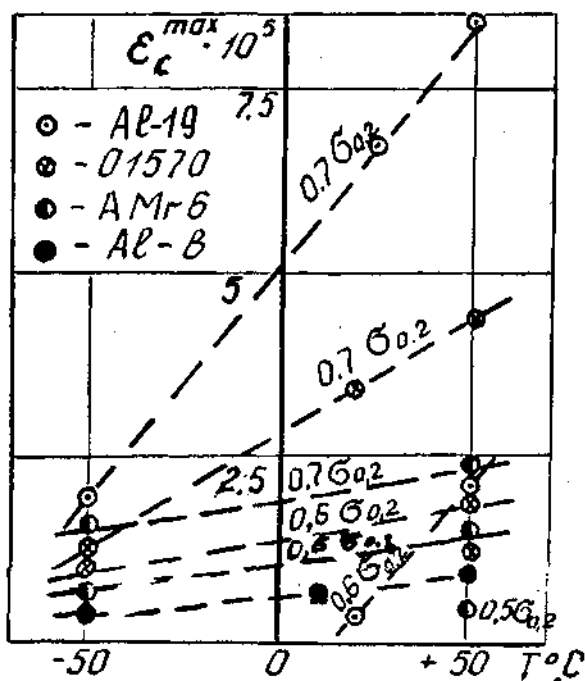


Рис. 5. Зависимость максимальной деформации микротекучести от температуры

При уровне напряжения $\sigma = 0.6\sigma_{0.2}$ величины деформаций ползучести для этих сплавов отличаются незначительно. Для минимального уровня нагрузки ($P = 20$ кН), при котором обнаруживается ползучесть металлокомпозита Al-B, зависимость также представлена на рис. 5. Величины максимальных деформаций ползучести при температурах $-50^{\circ}\text{C} \dots +50^{\circ}\text{C}$ отличаются в два раза.

Список используемых источников

1. Гараников В.В., Зубчанинов В.Г., Охлопков Н.Л. Экспериментальная пластичность. Книга 1: Процессы сложного деформирования. Тверь: ТГТУ, 2003. 172 с.
2. Гараников В.В., Зубчанинов В.Г., Охлопков Н.Л. Экспериментальная пластичность: монография. Книга 2: Процессы сложного нагружения. Тверь: ТГТУ, 2004. 184 с.
3. Дегтярев В.П. Пластичность и ползучесть машиностроительных конструкций. М: Машиностроение, 1967. 131 с.
4. Джонсон А. Ползучесть металлов при сложном напряженном состоянии // Механика. 1962. № 4. С. 91-145. 30.
5. Хенкин М.Л., Локшин И.Х. Размерная стабильность металлов и сплавов в точном машиностроении и приборостроении. М.: Машиностроение, 1974. 255 с.
6. Работнов Ю.Н. Опытные данные по ползучести технических сплавов и феноменологические теории ползучести (обзор) // Прикладная математика и теоретическая физика. 1965. № 1. С. 141-159.
7. Стрижало В.А. Циклическая ползучесть и ползучесть металлов при малоцикловом нагружении в условиях низких и высоких температур. Киев: Наук. Думка, 1978. 238 с.