

**Механика материалов:
прочность, ресурс, безопасность****Materials mechanics:
strength, durability, safety**DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2019-85-7-41-49>**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЙ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА СМЯТИЕ**

© Ярославла Владимировна Сулимина^{1*}, Николай Олегович Яковлев¹,
Владимир Сергеевич Ерасов¹, Алексей Юрьевич Ампилогов²,
Андрей Николаевич Поляков², Виталий Васильевич Автаев¹,
Евгений Игоревич Смагин², Олег Игоревич Щиглик²

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов; Россия, 105005, Москва, ул. Радио, д. 17, *e-mail: ya4@list.ru

² ПАО «Корпорация «Иркут»; Россия, 125315, Москва, Ленинградский проспект, д. 68.

*Статья поступила 24 апреля 2018 г. Поступила после доработки 25 июня 2018 г.
Принята к публикации 20 сентября 2018 г.*

Рассмотрены особенности проведения испытаний на смятие металлических материалов с применением различных способов измерения деформации овализации отверстия и их влияние на величины «модуля упругости при смятии» и напряжений смятия. Данные методики испытаний на смятие описаны в ASTM, различных стандартах организаций (СТО), государственный стандарт на испытание на смятие металлических материалов в настоящее время отсутствует. Проведен анализ дополнительных деформаций, возникающих при определении степени овализации отверстия при смятии. Установлено, что для каждой методики характерен свой набор источников дополнительных деформаций, связанных с конструкцией приспособлений, местами и способом крепления датчика деформации. Вносимые дополнительные деформации могут быть как растягивающими, так и сжимающими. Показано, что влияние на величину «модуля упругости при смятии» дополнительных деформаций не превышает 14 % в зависимости от методики. Различие между методиками при определении прочностных характеристик с учетом разброса не выявлено. При этом с увеличением пластической деформации разброс снижается и при деформации овализации отверстия ~4 % коэффициент вариации для всех методик составляет не более 1 %. Рассмотрены достоинства и недостатки методик испытаний на смятие, влияющие на воспроизводимость результатов. Рассмотрено влияние геометрии образцов на характеристики смятия. На примере конструкционных материалов марок 1163Т, ВТ6ч и 30ХГСА показано, что увеличение расстояния положения отверстия от торца образца, как и повышение остаточной овализации отверстия до 6 % приводят к росту прочностных характеристик при смятии.

Ключевые слова: смятие; приспособление для испытания на смятие; овализация отверстия; диаграмма смятия; металлические материалы.

THE MODERN METHODS OF PIN-TYPE BEARING TEST OF METALLIC MATERIALS

© Yaroslava V. Sulimina^{1*}, Nikolay O. Yakovlev¹, Vladimir S. Erasov¹,
Aleksey Yu. Ampilogov², Andrey N. Polyakov², Vitaly V. Avtaev¹,
Evgeniy I. Smagin², Oleg I. Shchiglik²

¹ All-russian scientific research institute of aviation materials, ul. Radio, d. 17, Moscow, 105005, Russia; e-mail: ya4@list.ru

² Irkut Corporation JSC, 68, Leningradskiy prosp., d. 68, Moscow, 125315, Russia.

Received April 24, 2018. Revised June 25, 2018. Accepted September 20, 2018.

The special features of various bearing deformation measurements for pin-type bearing tests of metallic materials are considered along with their impact on the magnitude of the “bearing elastic modulus” and bearing stress. These bearing test methods are present in ASTM and various institutional standards, though no state standard (GOST, GOST R) is currently available for bearing test method of metallic materials. Analysis of additional deformations which arise in determining the degree of hole bearing deformation is carried out. A set of sources of additional deformations is shown to be characteristic for each test

procedure and is attributed to the design features of the device, the site and a way of mounting the extensometer. Additional deformations can be both tensile and compressive. It is shown that the impact of additional deformations on the “bearing elastic modulus” is limited to 14% for different procedures. No difference between the methods is revealed with regard to determination of the strength characteristics. At the same time the dispersion decreases with increase in plastic deformation and for bearing deformation about 4% the variation coefficient for all methods is no more than 1%. Advantages and shortcomings of the bearing test methods which affect the reproducibility of the results are considered. The effect of the specimen geometry on the bearing characteristics is considered. It is shown that increase both in the distance from the edge of the bearing specimen to the center of the hole for 1163T, VT6ch, 30KhGSA alloys and residual bearing deformation up to 6%, increase bearing strength characteristics.

Keywords: pin-type bearing; pin-type bearing test fixture; bearing deformation; bearing diagram; metallic materials.

Введение

При конструировании летательных аппаратов выбирают такие способы соединения деталей в конструкции, как заклепочные, болтовые, клеевые [1 – 2] и др. Причем заклепочные и болтовые соединения по-прежнему остаются основными и применяются в современных самолетах SSJ-100, Ил-114, МС-21 и др.

Причиной разрушения заклепочных и болтовых соединений, помимо деформации или среза несущего стержня, может быть смятие листовых элементов и, как следствие, разрыв листов в сечении, ослабленном отверстием. Для оценки работоспособности болтового или заклепочного соединения в конструкции летательного аппарата проводят квалификационные испытания с определением расчетных значений характеристик статической прочности при смятии [3 – 7] современных конструкционных материалов [8 – 11].

Основными характеристиками, определяемыми при испытании на смятие, являются: $\sigma_{см}^x$ — напряжение смятия, соответствующее величине остаточной овализации отверстия x (%), МПа (обычно $\sigma_{см}^x$ определяют для степени остаточной деформации x , равной в 2, 4, 6 %); $\sigma_{в}^{см}$ — предел прочности при смятии, соответствующий максимальному напряжению, которое выдерживает материал до разрушения, МПа; при необходимости определяют $E_{см}$ — тангенс угла наклона диаграммы смятия на линейном участке («модуль упругости при смятии» [3]), ГПа, и $\sigma_e^{см}$ —

напряжение смятия, соответствующее концу упругого (elastic) участка кривой деформирования, МПа.

Причем последнюю величину находят как предел пропорциональности при смятии или, что более удобно в инженерной практике, как напряжение смятия, соответствующее малой величине остаточной овализации отверстия, например 0,1 %.

Для получения характеристик смятия в настоящее время существует несколько методик [12 – 14], сущность которых сводится к единой принципиальной схеме: образец — пластину с одним или двумя отверстиями (рис. 1) — нагружают через сминающий стержень, который представляет собой высокопрочную цилиндрическую шпильку. Разница диаметров отверстия образца и сминающего стержня регламентируется в зависимости от методики (обычно не более 0,025 мм).

При испытании регистрируют нагрузку и величину овализации отверстия образца сминающим стержнем. Образец нагружают до достижения требуемого значения деформации смятия или до разрушения и записывают диаграмму деформирования напряжение смятия — деформация смятия (рис. 2).

Напряжения при смятии рассчитывают по формуле

$$\sigma^{см} = P^{см}/(da),$$

где $P^{см}$ — нагрузка при испытании на смятие, Н; d — диаметр сминающего стержня, мм; a — толщина образца, мм.

Сильное влияние на величины характеристик смятия оказывают такие геометрические параметры, как толщина и ширина образца, диаметр отверстия, его расположение, характеризующееся отношением расстояния от центра сминаемого отверстия до торца образца к диаметру сминаемого отверстия — l/D . Обычно для получения характеристик смятия применяют образцы с отношением l/D , равным 1,5 или 2.

В данной статье рассмотрены особенности проведения испытаний на смятие металлических

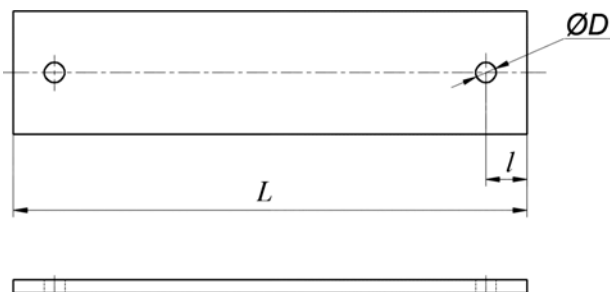


Рис. 1. Образец для испытания на смятие

Fig. 1. Bearing test specimen

материалов с применением различных методик измерения деформации овализации отверстия. Проведен анализ дополнительных деформаций, возникающих при определении степени овализации отверстия. Рассмотрено влияние отношения l/D на прочностные характеристики при смятии образцов из материалов марок 1163Т, ВТ6ч и 30ХГСА.

Объекты и методы исследования

Применяемые в настоящее время методики испытаний на смятие имеют отличия, связанные с конструкцией приспособлений, местами и способом крепления датчика деформации для измерения величины овализации отверстия. Данные методики описаны в ASTM, различных стандартах организаций (СТО), однако государственный стандарт на испытание на смятие металлических материалов в настоящее время отсутствует. На рис. 3 представлены наиболее распространенные методики (А, В, В, Г и Д) проведения испытаний на смятие с указанием схем приспособления с местами установки датчиков деформации (а), а также образцов и точек (линий), относительно которых измеряется деформация (б).

Данные методики, включая конструкцию приспособлений для испытаний, описаны в разных источниках:

А — в патенте [13], стандарте организации (СТО) ФГУП «ВИАМ» СТО 1-595-30-502-2015; В — в СТО ФГУП «ВИАМ» СТО 1-595-30-502-2015; В — в СТО ПАО «Корпорация «Иркут» 1211-0000-0000-106-00ТМ, СТО ФГУП «ВИАМ» СТО 1-595-30-502-2015; Г — в патенте [14], СТО ФГУП «ВИАМ» СТО 1-595-30-502-2015; Д — в ASTM E 238-17.

В каждой из этих методик овализацию отверстия устанавливают косвенно — путем определения перемещения в направлении приложения нагрузки между условной точкой на образце и линией контакта сминающего стержня и образца (по образующей сминающего стержня, расположенной наиболее близко к торцу образца в направлении приложения нагрузки). Точка на поверхности образца может находиться ниже или выше отверстия в зависимости от способа определения деформации.

Так, в методике А образец устанавливают между нагружающими рамами с помощью сминающего стержня. В каждой раме выполнено отверстие для установки упора на верхний край образца. Упор закрепляют прижимными винтами как можно ближе к боковым кромкам образца, чтобы избежать «паразитных» деформаций [12]. Датчик раскрытия устанавливают между сминающим стержнем и упором.

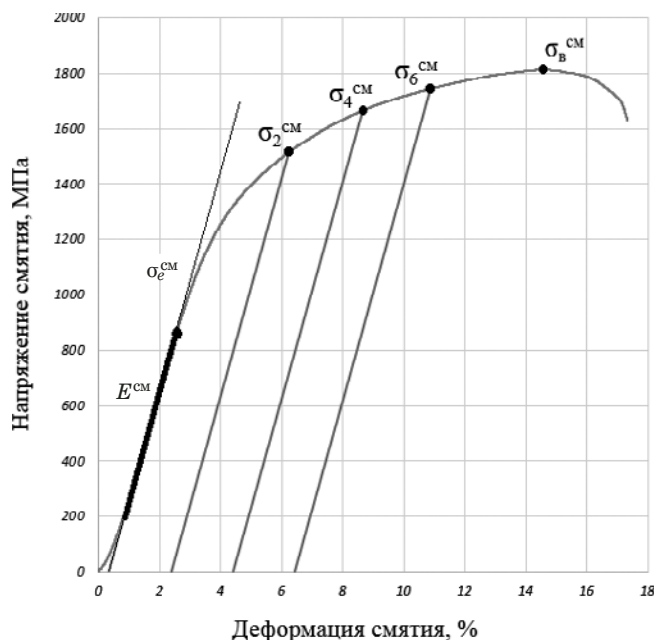


Рис. 2. Диаграмма деформирования напряжение смятия – деформация смятия

Fig. 2. Bearing stress – strain diagram

По методике В образец устанавливают в приспособление типа «вилка», закрепленное в верхнем захвате, через сминающий стержень. Верхний нож датчика деформации размещают под сминающим стержнем на вилку, нижний нож — на образец.

В соответствии с методикой В на торце образца (как можно ближе к его боковой кромке) предварительно выполняют резьбовое отверстие и крепят специальную скобу с помощью винта. Образец через сминающий стержень устанавливают в вилку, закрепленную в верхнем захвате, датчик раскрытия — между сминающим стержнем и скобой.

Согласно методике Г образец размещают между нагружающими рамами с помощью сминающего стержня. В нагружающих рамах выполнены сквозные пазы для установки и перемещения ножей, которые внедряются в образец под нижним краем отверстия. Датчик раскрытия закрепляют между сминающим стержнем и прижимом.

В соответствии с методикой Д датчик деформации измеряет перемещение щупа относительно его направляющей, закрепленной винтами на образце. Щуп представляет собой стержень с лезвием на конце, которое опирается на сминающий стержень. Ножи датчика деформации устанавливают на щуп и направляющую.

Из рис. 3 видно, что деформацию овализации отверстия в методиках А, В и Д измеряют между схожими «точками»: областью в углу образца близки его верхнего торца и линией контакта сминающего стержня и образца.

Для сравнения методик *A*, *Б*, *В*, *Г* были проведены испытания на смятие образцов из алюминиевого сплава марки 1163Т (плита 12 мм) толщиной 4 мм, шириной 36 мм, с диаметром сминаемого отверстия 6 мм и отношением l/D , равным 1,5. При испытаниях записывали диаграмму смятия в координатах напряжение смятия —

деформация смятия, по которой определяли «модуль упругости при смятии» $E_{см}$ и напряжения смятия $\sigma_{0,1}^{см}, \sigma_{0,2}^{см}, \sigma_2^{см}, \sigma_4^{см}, \sigma_6^{см}$.

Влияние геометрии образцов на характеристики смятия исследовали при испытаниях по методике *Б* образцов из алюминиевого сплава марки 1163Т (плита 80 мм), титанового сплава

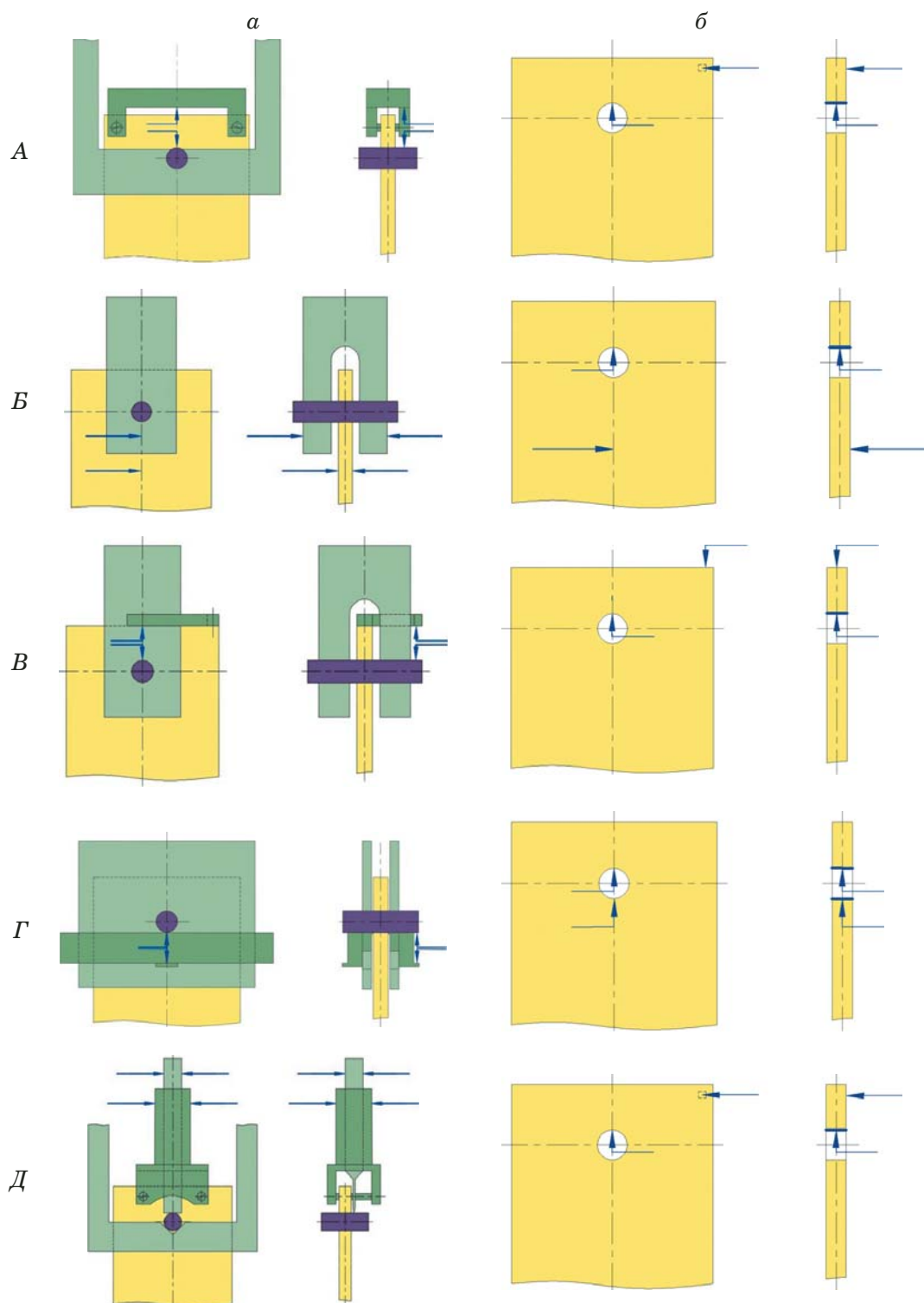


Рис. 3. Схемы методики проведения испытаний на смятие

Fig. 3. The scheme of pin-type bearing test

марки ВТ6ч (плита 45 мм) и стали марки 30ХГСА (лист 8 мм). Толщина образцов составляла 5 мм, ширина — 40 мм, диаметр отверстия — 10 мм, отношение l/D — 1,6 и 2. По полученным диаграммам смятия определяли напряжения $\sigma_2^{см}$, $\sigma_4^{см}$, $\sigma_6^{см}$.

Все испытания проводили со скоростью деформирования 1 мм/мин на универсальной электромеханической испытательной машине Zwick/Roell Z250 с номинальной нагрузкой 250 кН. Для контроля деформации по методикам А, В, Г применяли датчик раскрытия с базой 12 мм и классом точности В-2 по ASTM E 83. По методике В для измерения деформации на образце и вилку устанавливали ножи макродатчика деформации с классом точности 0,5 по EN ISO 9513. База замера деформации при определении овализации отверстия составляла 30 мм.

Результаты и их обсуждение

Как уже было сказано, вышерассматриваемые методики испытаний на смятие отличаются по конструкции приспособлений, местам и способам крепления датчика деформации для измерения величины овализации отверстия. Эти особенности приводят к тому, что в каждой методике в измеряемую деформацию помимо истинной величины овализации отверстия входят дополнительные деформации, связанные с деформированием сминающего стержня; части оснастки между сминающим стержнем и местом установки датчика деформации на оснастке; части образца между сминающим стержнем и местом крепления элемента оснастки на образце; части образца между сминающим стержнем и местом установки одного из ножей датчика деформации на образце; элемента оснастки (упор, скоба), на кото-

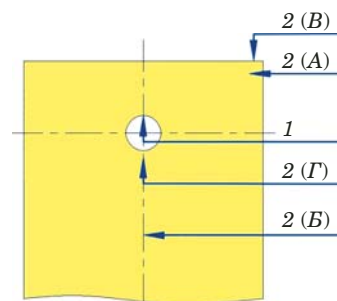


Рис. 4. Схема измерения деформации на образце по методикам А, В, В, Г

Fig. 4. The scheme of measuring specimen deformation by methods А, В, С, and D

рый устанавливают один из ножей датчика деформации.

Для каждой методики характерен свой набор источников дополнительных деформаций и их знак. Вносимые дополнительные деформации могут быть как растягивающими, так и сжимающими. В табл. 1 приведены источники дополнительных деформаций для каждой из методик с качественной оценкой вносимого вклада («+» и «-» — дополнительные растягивающие и сжимающие деформации), а также знаки деформаций, измеряемых при проведении испытаний («+» и «-» — деформации растяжения и сжатия).

На рис. 4 схематично показаны точки на образце, между которыми измеряют деформации. Для всех методик один из ножей датчика деформации устанавливают на сминающий стержень (точка 1). Вторая точка может лежать выше, как для методик А (точка 2А) и В (точка 2В), или ниже, как для методик В (точка 2В) и Г (точка 2Г). При этом деформацию измеряют строго вдоль оси приложения нагрузки, для чего в методиках А и В используют специальные упор и ско-

Таблица 1. Дополнительные (к деформации овализации отверстия) деформации, возникающие при испытании на смятие

Table 1. Additional deformations which arise at bearing test

Элементы силовой цепочки	Дополнительные растягивающие (+) или сжимающие (-) деформации для методик			
	А	В	В	Г
Сминающий стержень	-	+	-	+
Часть образца между сминающим стержнем и местом крепления элемента оснастки	-	Нет элемента	-	Нет элемента
Часть образца между сминающим стержнем и местом установки датчика деформации	Нет элемента	+	Нет элемента	Нет элемента
Часть оснастки между сминающим стержнем и местом установки датчика деформации	Нет элемента	-	Нет элемента	Нет элемента
Элемент оснастки (упор, скоба), на который устанавливают датчик деформации	+	Нет элемента	+	-
Знак измеряемой при испытании деформации овализации отверстия	-	+	-	+

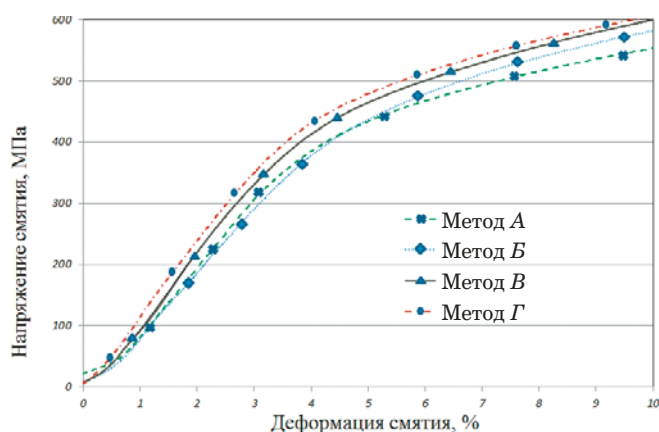


Рис. 5. Усредненные диаграммы деформирования образцов из сплава марки 1163Т при смятии по методикам А, Б, В, Г

Fig. 5. The averaged deformation diagrams of the specimen (alloy 1163T) obtained by methods A, B, C, and D

бу соответственно, которые переносят точку установки второго ножа датчика деформации на середину ширины образца. Следует отметить методу Г, в которой датчик деформации считывает перемещение нижнего края отверстия в образце (точка 2Г) относительно образующей сминающего стержня, расположенной наиболее близко к торцу образца в направлении приложения нагрузки. Данная методика позволяет измерять деформацию овализации отверстия непосредственно по его диаметрально противоположным образующим и содержит наименьшее количество источников дополнительных деформаций.

Следует также отметить, что величины вкладов от перечисленных в табл. 1 источников дополнительных деформаций будут зависеть от:

физико-механических характеристик испытываемого материала;

физико-механических характеристик материалов, из которых изготовлено приспособление и сминающий стержень;

геометрических параметров приспособления для смятия (толщин вилок, полок скоб и т.д.);

геометрических параметров образцов.

На рис. 5 приведены диаграммы смятия образцов из сплава марки 1163Т, полученные при

испытаниях по методикам А, Б, В, Г. Их сопоставление (табл. 2) показывает, что дополнительные деформации, связанные с конструкцией приспособлений, местами и способом крепления датчика деформации оказывают влияние на величину «модуля упругости при смятии», которое не превышает 14 % в зависимости от методики испытания. Следует также учитывать довольно большой разброс экспериментальных данных, который составляет до ~10 % в зависимости от методики. Оценка и выбор методики с точки зрения наиболее точного определения «модуля упругости при смятии» требует количественного анализа вклада дополнительных деформаций, что представляется довольно сложной инженерной задачей, решение которой является актуальной.

В то же время различия между методиками при определении прочностных характеристик с учетом разброса экспериментальных данных не выявлено. При этом с увеличением пластической деформации разброс снижается и при деформации овализации отверстия ~4 % коэффициент вариации для всех методик составляет не более 1 %.

Немаловажным фактором для воспроизводимости результатов является простота методики, регламент действий по установке образца в оснастку и установке датчика деформации.

Так, применяемый в методиках А, В и Г сминающий стержень имеет пропилен для установки датчика раскрытия, положение которого сложно ориентировать относительно аналогичного пропила оснастки. Таким образом, при каждом новом испытании датчик раскрытия находится в новом положении и измеряет деформацию на другой базе, что может сказаться, прежде всего, на результатах определения «модуля упругости при смятии».

Достоинство методики Б состоит в простой установке образца в приспособление и возможном автоматизированном креплении датчика деформации, что снижает вклад человеческого фактора в результаты испытаний, а также время, затраченное на одно испытание.

Недостатком методики В можно считать трудоемкий процесс подготовки образца к испыта-

Таблица 2. Результаты испытаний на смятие по методикам А, Б, В, Г образцов сплава марки 1163Т, плита 12 мм (средние значения и их среднеквадратичные отклонения)

Table 2. The bearing test results of the alloy 1163T, plate 12 mm (mean values and standard deviations) for procedures A, B, C, and D

Методика	E^{cm} , ГПа	$\sigma_{0,1}^{cm}$, МПа	$\sigma_{0,2}^{cm}$, МПа	σ_1^{cm} , МПа	σ_2^{cm} , МПа	σ_4^{cm} , МПа	σ_6^{cm} , МПа
А	11,0 ± 0,8	359 ± 7	380 ± 10	466 ± 8	515 ± 4	577 ± 3	620 ± 3
Б	10,4 ± 0,3	372 ± 16	391 ± 12	471 ± 6	518 ± 4	577 ± 5	618 ± 4
В	11,6 ± 0,9	364 ± 19	386 ± 18	468 ± 10	515 ± 7	577 ± 1	620 ± 4
Г	11,7 ± 0,9	369 ± 17	393 ± 9	475 ± 4	520 ± 5	580 ± 6	621 ± 6

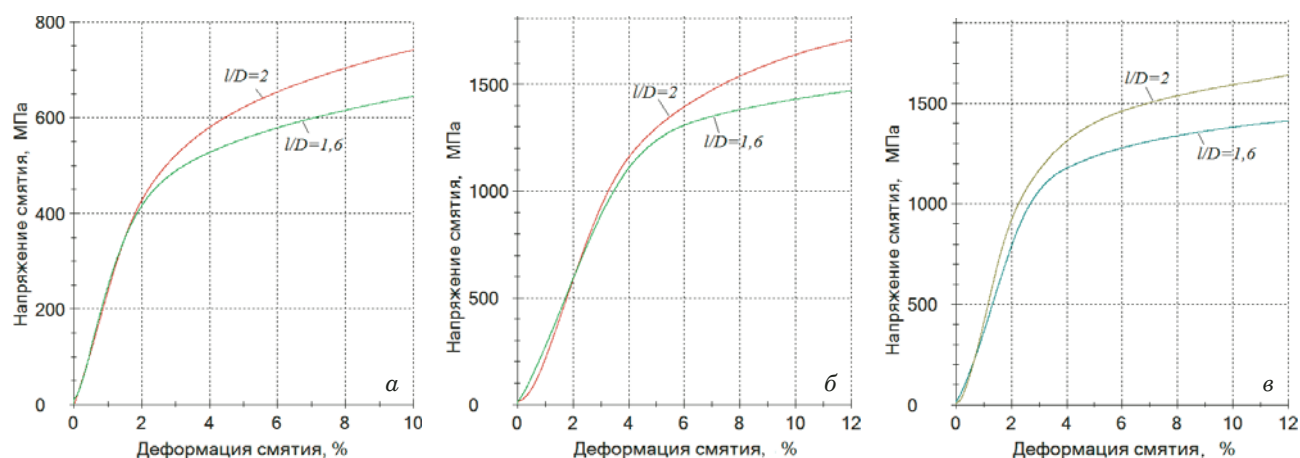


Рис. 6. Диаграммы деформирования при смятии образцов с отношением l/D , равным 1,6 и 2, алюминиевого сплава марки 1163Т, плита 80 мм (а); титанового сплава марки ВТ6ч, плита 45 мм (б) и стали марки 30ХГСА, лист 8 мм (в)

Fig. 6. The bearing deformation diagram of the specimens with l/D ratio equal to 1.6 and 2: aluminum alloy 1163T plate 80 mm (a); titanium alloy VT6ch plate 45 mm (b); steel 30KhGSA sheet 8 mm (c)

нию (изготовление отверстия в образце и крепление скобы). Данная методика не подходит для испытаний тонких образцов из-за невозможности изготовления в них торцевого отверстия.

Недостаток методики Γ — трудоемкая установка образца в приспособление, значительно увеличивающая время испытания. Отсутствие требований по величине момента затяжки болтов нагружающих рам и прижимов ножей приводит к тому, что при сильной затяжке болтов трение между образцом и приспособлением начинает оказывать влияние на результаты испытания. При слабой же затяжке болтов, соединяющих прижимы ножей, может произойти неплотное зацепление ножей, что приведет к получению некорректных данных по перемещению. При их сильной затяжке ножи могут деформироваться или притупиться.

Немаловажным фактором при испытании на смятие является геометрия образца, прежде всего, его толщина и отношение l/D , характеризующее расположение центра сминаемого отверстия к его диаметру. Геометрия образца зачастую определяет выбор методики испытания, а также сама по себе оказывает значительное влияние на величины определяемых характеристик.

Для примера в табл. 3 приведены характеристики смятия, полученные на образцах с отношением l/D , равным 1,6 и 2, для алюминиевого сплава марки 1163Т (плита 80 мм), титанового сплава марки ВТ6ч (плита 45 мм) и стали марки 30ХГСА (лист 8 мм) по методике B , а на рис. 6 — диаграммы деформирования.

Сравнение полученных результатов показывает, что все характеристики смятия, полученные на образцах с отношением l/D , равным 2, выше, чем полученные на образцах с отношением

l/D , равным 1,6. Так, напряжения смятия $\sigma_2^{\text{см}}$, $\sigma_4^{\text{см}}$, $\sigma_6^{\text{см}}$ для алюминиевого сплава марки 1163Т увеличились на 10, 12, 13 % соответственно, для титанового сплава марки ВТ6ч — на 11, 16, 19 % соответственно, для стали марки 30ХГСА — на 12, 13, 14 % соответственно. При этом, как видно из рис. 7, характер прироста напряжений, связанный с изменением расположения отверстия, для образцов титанового сплава носит более интенсивный характер, чем для алюминиевого сплава и стали.

Заключение

Существующие методики испытаний на смятие металлических материалов отличаются способами измерения деформации овализации отверстия, связанными с конструкцией приспособления, местом и способом крепления датчика деформации. Рассмотренные методики описаны в различных стандартах организаций (СТО), государственный стандарт на проведение испытаний

Таблица 3. Результаты испытаний на смятие образцов с отношением l/D , равным 1,6 и 2 (средние значения и их среднеквадратичные отклонения)

Table 3. The bearing test results of the specimens with the ratio l/D equal to 1.6 and 2 (mean values and standard deviations)

Марка материала (полуфабрикат)	l/D	$\sigma_2^{\text{см}}$, МПа	$\sigma_4^{\text{см}}$, МПа	$\sigma_6^{\text{см}}$, МПа
1163Т (плита 80 мм)	1,6	540 ± 11	595 ± 11	635 ± 13
	2	595 ± 8	670 ± 11	720 ± 12
ВТ6ч (плита 45 мм)	1,6	1325 ± 15	1400 ± 14	1445 ± 13
	2	1470 ± 31	1625 ± 28	1715 ± 22
30ХГСА (лист Б-8)	1,6	1225 ± 20	1310 ± 17	1360 ± 18
	2	1370 ± 36	1480 ± 37	1545 ± 37

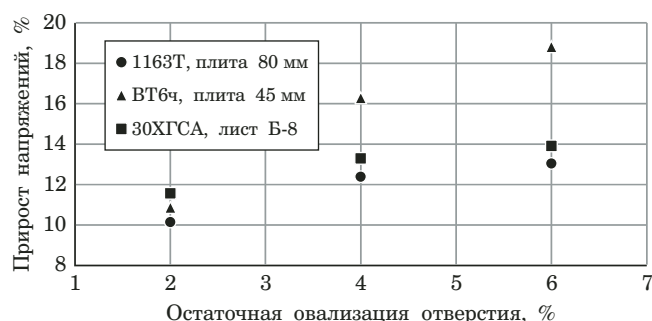


Рис. 7. Прирост напряжений при увеличении отношения l/D с 1,6 до 2

Fig. 7. An increase in the stress value with increase in l/D ratio from 1.6 to 2

металлических материалов на смятие отсутствуют. Для унификации подхода к проведению испытаний разработка такого стандарта представляется целесообразной.

Различие между рассмотренными методиками при определении прочностных характеристик с учетом их разброса не выявлено. При этом с увеличением пластической деформации разброс снижается и при деформации овализации отверстия ~4 % коэффициент вариации для всех методик составляет не более 1 %. В то же время разница при определении «модуля упругости при смятии» составляет до 14 %, что можно объяснить значительным разбросом экспериментальных данных, сложностью определения квазилинейного участка на диаграмме деформирования, влиянием дополнительных деформаций, связанных с особенностями измерения деформации овализации отверстия. Оценка влияния этих факторов на величину «модуля упругости при смятии» является весьма актуальной задачей для выбора методики и повышения точности ее определения.

В настоящее время выбор методики испытания определяется характеристиками исследуемых материалов и параметрами образцов, прежде всего, толщиной. При этом для определения силовых характеристик смятия при заданной остаточной овализации отверстия предпочтительной является методика Б, как наименее трудоемкая и максимально исключающая человеческий фактор в процессе испытаний.

Показано, что для различных материалов (сплавы марок 1163Т, ВТ6ч, 30ХГСА) увеличение расстояния положения отверстия от торца образца приводит к росту значений прочностных характеристик.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 2.2: Квалификация и исследования материалов. («Стратегические направления развития материалов

и технологий их переработки на период до 2030 года») [15].

ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е. Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники / Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. № 6. С. 520 – 530.
2. Яковлев Н. О., Ерасов В. С., Петрова А. П. Сравнение нормативных баз различных стран по испытанию клеевых соединений материалов / Все материалы. Энциклопедический справочник. 2014. № 7. С. 2 – 8.
3. Коновалов В. В. Методология аттестации конструкционных металлических материалов планера самолета / Труды ЦАГИ. 2013. Вып. 2725. С. 214.
4. Ерасов В. С., Гриневич А. В., Сеник В. Я., Коновалов В. В., Трунин Ю. П., Нестеренко Г. И. Расчетные значения характеристик прочности авиационных материалов / Авиационные материалы и технологии. 2012. № 2. С. 14 – 16.
5. Луценко А. Н., Славин А. В., Ерасов В. С., Хвацкий К. К. Прочностные испытания и исследования авиационных материалов / Авиационные материалы и технологии. 2017. № S. С. 527 – 546. doi: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-527-546.
6. Димитриенко Ю. И., Губарева Е. А., Сборщиков С. В., Ерасов В. С., Яковлев Н. О. Численное моделирование и экспериментальное исследование деформирования упруго-пластических пластин при смятии / Математическое моделирование и численные методы. 2015. № 1(5). С. 67 – 82.
7. Ерасов В. С., Яковлев Н. О., Автаев В. В. Современное состояние лаборатории имени профессора С. И. Кишкиной / Авиационные материалы и технологии. 2014. № S4. С. 136 – 139. doi: 10.18577/2071-9140-2014-0-s4-136-139.
8. Тарасов Ю. М., Антипов В. В. Новые материалы ВИАМ — для перспективной авиационной техники производства ОАО «ОАК» / Авиационные материалы и технологии. 2012. № 2(23). С. 5 – 6.
9. Антипов В. В. Перспективы развития алюминиевых, магниевых и титановых сплавов для изделий авиационно-космической техники / Авиационные материалы и технологии. 2017. № S. С. 186 – 194. doi: 10.18577/2071-9140-2017-s4-186-194.
10. Каблов Е. Н. Материалы нового поколения / Защита и безопасность. 2014. № 4. С. 28 – 29.
11. Антипов В. В. Стратегия развития титановых, магниевых, бериллиевых и алюминиевых сплавов / Авиационные материалы и технологии. 2012. № S. С. 157 – 167.
12. Ерасов В. С., Нужный Г. А. Определение характеристик смятия при механических испытаниях / Комментарии к стандартам, ТУ, сертификатам. Ежемесячное приложение к журналу «Все материалы. Энциклопедический справочник». 2012. № 1. С. 14 – 21.
13. Пат. 102801 РФ. Устройство для испытания прочностных свойств конструкционных материалов / Ерасов В. С., Байрамуков Р. Р., Яковлев Н. О., Нужный Г. А.; заявитель и патентообладатель Минпромторг России; № 2010142213/28; заявл. 15.10.2010; опубл. 10.03.2011. Бюл. № 7.
14. Пат. 2618489 РФ. Устройство для испытаний конструкционных материалов на смятие и способ испытаний на смятие / Каблов Е. Н., Лавров А. В., Ерасов В. С., Орешко Е. Н.; заявитель и патентообладатель ФГУП «ВИАМ»; № 2016114303; заявл. 13.04.2016; опубл. 03.05.2017. Бюл. № 13.
15. Каблов Е. Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» / Авиационные материалы и технологии. 2015. № 1(34). С. 3 – 33. doi: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.

REFERENCES

1. **Kablov E. N.** The materials and chemical technologies for the aircraft engineering / Herald of the Russian Academy of Sciences 2012. Vol. 82. N 3. P. 158 – 167.
2. **Yakovlev N. O., Erasov V. S., Petrova A. P.** Comparison of the different countries regulatory bases on testing of materials glue connections / Vse Mater. Éntsikloped. Sprav. 2014. N 7. P. 2 – 8 [in Russian].
3. **Kononov V. V.** Certification methodology of airframe constructional metal materials airframe / Trudy TsAGI. 2013. Issue 2725. P. 214 [in Russian].
4. **Erasov V. S., Grinevich A. V., Senik V. Ya., Kononov V. V., Trunin Yu. P., Nesterenko G. I.** The calculated values of aviation materials strength characteristics / Aviats. Mater. Tekhnol. 2012. N 2. P. 14 – 16 [in Russian].
5. **Lutsenko A. N., Slavin A. V., Erasov B. S., Khvatskiy K. K.** Strength tests and researches of aviation materials / Aviats. Mater. Tekhnol. 2017. N S. P. 527 – 546. doi: 10.18577/2071-9140-2017-0-S-527-546 [in Russian].
6. **Dimitrienko Yu. I., Gubareva E. A., Sborshchikov S. V., Erasov V. S., Yakovlev N. O.** Numerical modeling and experimental research of bearing deformation elastic-plastic plates / Matem. Model. Chisl. Met. 2015. N 1(5). P. 67 – 82 [in Russian].
7. **Erasov V. S., Yakovlev N. O., Avtaev V. V.** Modern state of laboratory named after professor S. I. Kishkina / Aviats. Mater. Tekhnol. 2014. N S4. P. 136 – 139. doi: 10.18577/2071-9140-2014-0-s4-136-139.
8. **Tarasov Yu. M., Antipov V. V.** The VIAM new materials — for JSC “OAK” the perspective aviation equipment / Aviats. Mater. Tekhnol. 2012. N 2(23). P. 5 – 6 [in Russian].
9. **Antipov V. V.** Prospects for development of aluminum, magnesium and titanium alloys for aerospace engineering / Aviats. Mater. Tekhnol. 2017. N S. P. 186 – 194. doi: 10.18577/2071-9140-2017-s4-186-194.
10. **Kablov E. N.** A Materials of new generation / Zashch. Bezopasn. 2014. N 4. P. 28 – 29 [in Russian].
11. **Antipov V. V.** The development strategy of titanium, magnesium, beryllium and aluminum alloys / Aviats. Mater. Tekhnol. 2012. N S. P. 157 – 167 [in Russian].
12. **Erasov V. S., Nyzhniy G. A.** Determination of the pin-type bearing characteristics at mechanical tests / Comments to standards specifications certificates. Monthly supplement to Vse Mater. Éntsikloped. Sprav. 2012. N 1. P. 14 – 21 [in Russian].
13. RF Pat. 102801. Device for testing of constructional materials / Erasov V. S., Bairamukov R. R., Yakovlev N. O., Nuzhniy G. A.; Minpromtorg: N 2010142213/28; appl. 15.10.2010; publ. 10.03.2011. Byull. N 7 [in Russian].
14. RF Pat. 2618489. Device for testing construction materials for crushing, and test method of crushing / Kablov E. N., Lавров A. V., Erasov V. S., Oreshko E. I.; FGUP “VIAM”: N 2016114303; appl. 13.04.2016; publ. 03.05.2017. Byull. N 13 [in Russian].
15. **Kablov E. N.** FSUE “VIAM” SRC RF innovative development for the implementation “The development strategic directions of materials and processing technologies for the period up to 2030” / Aviats. Mater. Tekhnol. 2015. N 1(34). P. 3 – 33. doi: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33 [in Russian].