

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И
МЕТРОЛОГИИ (РОСТЕХРЕГУЛИРОВАНИЕ)

ФГУП «РОССИЙСКИЙ НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ИНФОРМАЦИИ
ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И ОЦЕНКЕ СООТВЕТСТВИЯ»
(ФГУП "СТАНДАРТИНФОРМ")

Пер. №3173

Группа МКС 75.100

**Промышленность нефтяная и газовая. Растворы и
материалы для вскрытия продуктивного пласта.**

Часть 5.

**Методики измерения долгосрочной удельной проводимости
расклинивающих наполнителей**

*Petroleum and natural gas industries — Completion fluids and materials — Part 5:
Procedures for measuring the long-term conductivity of proppants*

11 февраля 2005 г. создан ФГУП «Российский научно-технический центр
информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия»
(ФГУП «Стандартинформ»).

ФГУП «Стандартинформ» является правопреемником ФГУП «ВНИИКИ» по
информации в области технического регулирования, метрологии и оценке
соответствия и выполняет все его уставные функции.

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО

**Федеральное агентство
по техническому регулированию
и метрологии**

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»

Номер регистрации: 3173/ISO

Дата регистрации: 30.11.2007

Страна, № стандарта

ISO 13503-5:2006

Переводчик: Зайцев Н.А.

Редактор: Лебедева Е.В.

Кол-во стр.: 34

Кол-во рис.: 6

Кол-во табл.: 1

Перевод выполнен: 09.11 2007

Редактирование выполнено: 12.10.2007

Перевод аутентичен оригиналу

Москва

2007 г.

**Промышленность нефтяная и газовая.
Растворы и материалы для вскрытия
продуктивного пласта.**

Часть 5:
**Методы измерения долгосрочной
проводимости расклинивающих
наполнителей**

Petroleum and natural gas industries — Completion fluids and materials —

Part 5: Procedures for measuring the long-term conductivity of proppants



Отказ от ответственности при работе в PDF

Настоящий файл PDF может содержать интегрированные шрифты. В соответствии с условиями лицензирования, принятыми фирмой Adobe, этот файл можно распечатать или смотреть на экране, но его нельзя изменить, пока не будет получена лицензия на интегрированные шрифты и они не будут установлены на компьютере, на котором ведется редактирование. В случае загрузки настоящего файла заинтересованные стороны принимают на себя ответственность за соблюдение лицензионных условий фирмы Adobe. Центральный секретариат ISO не несет никакой ответственности в этом отношении.

Adobe - торговый знак фирмы Adobe Systems Incorporated.

Подробности, относящиеся к программным продуктам, использованные для создания настоящего файла PDF, можно найти в рубрике General Info файла; параметры создания PDF были оптимизированы для печати. Были приняты во внимание все меры предосторожности с тем, чтобы обеспечить пригодность настоящего файла для использования комитетами-членами ISO. В редких случаях возникновения проблемы, связанной со сказанным выше, просьба проинформировать Центральный секретариат по адресу, приведенному ниже.

© ISO 2006

Если не указано иное, никакую часть настоящей публикации нельзя копировать или использовать в какой-либо форме или каким-либо электронным или механическим способом, включая фотокопии и микрофильмы, без предварительного письменного согласия ISO, которое должно быть получено после запроса о разрешении, направленного по адресу, приведенному ниже, или в комитет-член ISO в стране запрашивающей стороны.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 734 09 47
E-mail [copyright @ iso.org](mailto:copyright@iso.org)
Web www.iso.org

Опубликовано в Швейцарии

Содержание

Страница

Предисловие	iii
1 Область применения	3
2 Нормативная ссылка	3
3 Термины и определения	3
4 Аббревиатуры	3
5 Методы оценки долгосрочной проводимости расклинивающих наполнителей	3
5.1 Цель	3
5.2 Пояснение	3
6 Реактивы и материалы	3
6.1 Испытательная жидкость	3
6.2 Песчаник	3
7 Испытательная установка для определения долгосрочной проводимости	3
7.1 Испытательная установка	3
7.2 Рама для нагружения с гидравлическим приводом	3
7.3 Устройство(а) для измерения ширины слоя наполнителя	3
7.4 Система транспортирования испытательной жидкости	3
7.5 Датчики дифференциального давления	3
7.6 Регуляторы противодействия	3
7.7 Весы	3
7.8 Удаление кислорода	3
7.9 Температурный контроль	3
7.10 насыщение диоксидом кремния и мониторинг	3
8 Калибровка оборудования	3
8.1 Индикаторы давления и скорости потока	3
8.2 Измерение нулевой (исходной) ширины слоя наполнителя	3
8.3 Определение ширины камеры	3
8.4 Гидравлическая рама для нагружения	3
9 Испытание на герметичность	3
9.1 Гидравлическая рама для нагружения	3
9.2 Система испытательной жидкости	3
10 Процедура загрузки испытательной камеры	3
10.1 Подготовка испытательной установки	3
10.2 Установка испытательной камеры	3
11 Нагружение камер(ы) в прессе	3
12 Сбор данных	3
13 Расчет проницаемости и проводимости	3
14 Сообщение данных	3
Приложение А (информативное) Коэффициенты преобразования	3
Приложение В (нормативное) Устройство сосуда для насыщения диоксидом кремния	3
Приложение С (информативное) Рисунки	3
Библиография	3

Предисловие

ISO (Международная организация по стандартизации) является всемирной федерацией национальных организаций по стандартизации (комитетов-членов ISO). Разработка международных стандартов обычно осуществляется техническими комитетами ISO. Каждый комитет-член, заинтересованный в деятельности, для которой был создан технический комитет, имеет право быть представленным в этом комитете. Международные правительственные и неправительственные организации, имеющие связи с ISO, также принимают участие в работах. ISO осуществляет тесное сотрудничество с международной электротехнической комиссией (IEC) по всем вопросам стандартизации в области электротехники.

Проекты международных стандартов разрабатываются согласно правилам, приведенным в Директивах ISO/IEC, Часть 2.

Проекты международных стандартов, принятые техническими комитетами, рассылаются комитетам-членам на голосование. Для публикации в качестве международного стандарта требуется одобрение не менее 75 % комитетов-членов, принявших участие в голосовании.

Следует иметь в виду, что, возможно, некоторые элементы настоящего международного стандарта могут быть объектом патентных прав. ISO не несет ответственность за определение некоторых или всех таких патентных прав.

ISO 13503-5 был разработан Техническим комитетом ISO/TC 67, *Материалы, оборудование и морские конструкции для нефтяной, нефтехимической и газовой промышленности*, Подкомитетом SC 3, *Растворы буровые и растворы для заканчивания скважин, цементы для цементирования скважин*.

ISO 13503 состоит из следующих частей под общим названием *Промышленность нефтяная и газовая — Растворы и материалы для вскрытия продуктивного пласта*:

- *Часть 1: Измерение вязких свойств растворов для вскрытия продуктивного пласта*
- *Часть 2: Измерение свойств расклинивающих наполнителей, используемых для гидравлического разрыва пласта и заполнения скважинного фильтра гравием*
- *Часть 3: Испытание насыщенных минеральных растворов*
- *Часть 4: Метод измерения пропускной способности стимулирующей жидкости и жидкости для заполнения скважинного фильтра гравием в статических условиях*
- *Часть 5: Метод измерения долгосрочной проводимости расклинивающих наполнителей*

Введение

Данная часть стандарта ISO 13503, в основном, базируется на стандарте API RP 61^[1]. Информационные ссылки также включены в раздел Библиография, Ссылки [2] - [15].

Испытания и испытательное оборудование здесь разработано для создания стандартных методов и условий, применяемых при оценке долгосрочной проводимости различных жидкостей для гидроразрыва пласта в лабораторных условиях. Данный метод позволяет пользователю сравнить характеристики проводимости в конкретных описанных условиях испытания. Результаты испытания могут помочь пользователю в сравнении материалов расклинивающих наполнителей для применения в операциях гидроразрыва.

Методы, представленные в данной публикации, не ставят целью помешать разработке новых технологий, улучшению материалов или совершенствованию рабочих методик. Для их применения в конкретной ситуации требуется квалифицированный технический анализ и надежное обоснование.

Данную часть ISO 13503 может использовать любой желающий. ISO и API приняли все возможные меры для обеспечения точности и надежности данных, содержащихся в этом стандарте. Однако, ISO и API не делают заявлений, и не дают поручительств или гарантий в отношении данной части ISO 13503, и, таким образом, решительно снимают с себя всякую ответственность за ущерб или убытки, полученные в результате применения данного стандарта или нарушения федерального, национального или муниципального регламента, которому данная часть ISO может противоречить.

В данной части ISO 13503, там, где практично, в скобках для информации включены традиционные единицы измерения США.

Промышленность нефтяная и газовая. Растворы и материалы для вскрытия продуктивного пласта.

Часть 5:

Методы измерения долгосрочной проводимости расклинивающих наполнителей

ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ — Методы испытания, описанные в данной части ISO 13503 не предназначены для получения абсолютных значений (удельной) проводимости расклинивающих наполнителей в пластовых условиях забоя скважины. Данные долгосрочных испытаний показали, что время, повышенные температуры, остатки жидкости для гидроразрыва пласта, циклическая нагруженность, вклиненность, мелкие частицы продуктивной толщи и другие факторы уменьшают проводимость расклинивающего наполнителя. Также, данное контрольное испытание предназначено для измерения потерь только энергии трения, соответствующих ламинарному потоку в пределах слоя наполнителя. Признано, что скорость жидкости в пределах фактического разрыва может быть значительно выше, чем в лабораторных испытаниях, и может оказаться под властью инерциальных эффектов.

1 Область применения

Данная часть ISO 13503 представляет рабочие методы испытания для оценки расклинивающих наполнителей, используемых для гидроразрыва пласта и заполнения скважинного фильтра гравием.

ПРИМЕЧАНИЕ «Расклинивающие наполнители», упоминаемые далее по тексту данной части ISO 13503 относятся к песку, керамическим средам, наполнителям с резиновым покрытием, средам для заполнения скважинного фильтра гравием и другим материалам, используемым для гидроразрыва пласта и заполнения скважинного фильтра гравием.

Цель данной части ISO 13503 заключается в обеспечении последовательной методологии для испытаний, выполняемых на расклинивающих наполнителях для гидроразрыва пласта и заполнения скважинного фильтра гравием. Она не предназначена для получения абсолютных значений (удельной) проводимости расклинивающих наполнителей в пластовых условиях забоя скважины.

2 Нормативная ссылка

Следующий нормативный документ является обязательным для применения с настоящим международным стандартом. Для жестких ссылок применяются только указанное по тексту издание. Для плавающих ссылок необходимо использовать самое последнее издание нормативного ссылочного документа (включая любые изменения).

ISO 3506-1, *Свойства механические крепежных изделий из коррозионно-стойкой нержавеющей стали. Часть 1. Болты, винты и шпильки*

3 Термины и определения

- 3.1**
(удельная) проводимость
conductivity
ширина разрыва, умноженная на проницаемость расклинивающего наполнителя
- 3.2**
ламинарный поток
laminar flow
тип ламинарного течения для однофазных жидкостей (текучих сред), в которой жидкость (текучая среда) движется параллельными слоями, или прослойками, так что слои текут гладко один над другим, а неустойчивость гасится за счет вязкости
- 3.3**
песчаник Огайо
Ohio sandstone
мелкозернистый песчаник, встречающийся в США, пласт Scioto, на юге Огайо
- 3.4**
проницаемость
permeability
мера способности сред пропускать жидкость (текучую среду) через поровые пространства

4 Аббревиатуры

- API Американский институт нефти
- ASTM Американское общество по материалам и испытаниям
- RTV Вулканизация при комнатной температуре
- ANSI Американский национальный институт стандартов
- PID Пропорционально-интегрально-дифференциальное регулирование (ПИД-регулирование)

5 Методы оценки долгосрочной проводимости расклинивающих наполнителей

5.1 Цель

Цель заключается в создании стандартного метода испытания с помощью стандартного оборудования в стандартных условиях для оценки долгосрочной проводимости расклинивающих наполнителей в лабораторных условиях. Этот метод используется для оценки проводимости расклинивающих наполнителей в лабораторных условиях, но не предназначен для получения абсолютных значений проводимости расклинивающих наполнителей в пластовых условиях забоя скважины. Воздействие мелких частиц, твердости пласта, постоянно присутствующих флюидов, время и/или другие факторы выходят за рамки данного метода.

5.2 Пояснение

В данной части ISO 13503, напряжение закрытия прикладывается к испытательной установке в течение $50 \text{ ч} \pm 2 \text{ ч}$, чтобы позволить пласту образца расклинивающего наполнителя достичь полустойчивого состояния. По мере продавливания жидкости через слой наполнителя измеряют ширину слоя наполнителя, дифференциальное давление, температуру и скорость потока, при каждом уровне нагрузки. Рассчитывают проницаемость и проводимость расклинивающего наполнителя.

Используются разные скорости потока, чтобы проверить работу датчиков и определить проницаемость пористой среды в единицах дарси в режиме потока при каждом значении нагрузки; в протокол вносят среднее значение этих скоростей потока. Рекомендуется минимальное падение давления 0,01 кПа (0,002 0 фунта на кв. дюйм); в противном случае необходимо увеличить скорость потока. При оговоренных условиях скорости потока и температуры не происходит заметных течений вне пор или инерциальных эффектов. После испытания всех скоростей на уровне напряжения закрытия во всех камерах увеличивают напряжение закрытия до нового уровня; дают $50 \text{ ч} \pm 2 \text{ ч}$ для того, чтобы слой расклинивающего наполнителя мог достичь полу-устойчивого состояния, и изменяют скорости потока во всех камерах, чтобы собрать данные для определения проводимости наполнителя при данном уровне нагрузки. Эту процедуру повторяют, пока все желаемые напряжения закрытия и скорости потока не будут оценены. Чтобы получить точные измерения проводимости, важно, чтобы поток был однофазным.

Параметры условий испытания, такие как испытательная жидкость, температура, нагружение, песчаник и время при каждом уровне напряжения, сообщали наряду с данными долгосрочной проводимости и проницаемости. Можно использовать другие условия для оценки различных характеристик расклинивающих наполнителей и, следовательно, можно ожидать получения отличающихся результатов.

6 Реактивы и материалы

6.1 Испытательная жидкость

Испытательная жидкость представляет собой раствор, содержащий 2 % по массе хлорида калия (KCl) в деионизованной или дистиллированной воде, профильтрованный через фильтр с размером пор, по крайней мере, 7 мкм. Хлорид калия должен иметь чистоту не менее 99,0 % по массе.

6.2 Песчаник

Керны песчаника Огайо рекомендуется брать размером от 17,70 см до 17,78 см (от 6,96 дюйма до 7,00 дюймов) в длину, от 3,71 см до 3,81 см (от 1,46 дюйма до 1,50 дюйма) в ширину, и не менее 0,9 см (0,35 дюйма) в толщину. Концы кернов песчаника должны быть скруглены, чтобы подходить к испытательной установке (см. 7.1). Параллельная толщина должна поддерживаться в пределах $\pm 0,008 \text{ см}$ ($\pm 0,003 \text{ дюйма}$).

7 Испытательная установка для определения долгосрочной проводимости

7.1 Испытательная установка

Испытательная установка должна иметь конструкцию для потока с линейным распределением скоростей с площадью пласта и расклинивающего наполнителя $64,5 \text{ см}^2$ (10 дюйм²). Рисунок С.1 показывает испытательную установку в деталях и является примером, как можно компоновать камеры. Поршни и испытательная(ые) камера(ы) должны конструироваться из нержавеющей стали 316 (например, по ISO 3506-1, Марка А4), из материала Monel¹⁾ или из материала Hastalloy. Фильтры для испытательной установки можно сконструировать, используя проволочную ткань Monel с отверстиями 150 мкм или эквивалентную сетку (100 меш, США). Номинальный размер удерживаемых частиц выше 114 мкм.

1) Monel and Hastalloy являются примером продукции, имеющейся в продаже. Эта информация дается для удобства пользователей данной части ISO 13503 и не высказывает предпочтения со стороны ISO в отношении данной продукции.

7.2 Рама для нагружения с гидравлическим приводом

Рама для нагружения должна иметь достаточную мощность для получения 667 кН (150 000 фунт-сила). Чтобы обеспечить равномерное распределение напряжений, пластины должны быть параллельны друг другу. Рекомендуется, чтобы гидравлическая рама для обеспечения нагрузки имела конструкцию с четырьмя стойками, что сводит к минимуму деформацию, которая может передаваться на испытательную камеру. Каждая стойка должна иметь минимальный диаметр 6,35 см (2,5 дюйма).

Источник гидравлического сжатия должен обеспечивать удержание желательного напряжения закрытия [$\pm 1,0$ % или 345 кПа (50 фунтов на кв.дюйм), в зависимости от того, какая величина больше] в течение 50 ч. Гидравлическая рама для нагружения должна обеспечивать изменение скорости нагружения 4 448 Н/мин (1 000 фунт-сила/мин) или 690 кПа/мин (100 фунт на кв.дюйм/мин) на 64,5 см² (10 дюйм²) камеры. Калиброванный электронный датчик нагрузки должен применяться для калибровки напряжения между гидравлическим поршнем и противоположной пластиной рамы для нагружения.

7.3 Устройство(а) для измерения ширины слоя наполнителя

Измерения ширины слоя наполнителя должны производиться с каждого конца установки. Должно использоваться измерительное устройство, обеспечивающее измерение точностью до 0,002 5 см (0,001 дюйма) или лучше. На рисунке С.4 показан пример ширины реек, позволяющих измерение ширины наполнителя.

7.4 Система транспортирования испытательной жидкости

Некоторые насосы с постоянной скоростью потока (например, хроматографические насосы) считаются удовлетворительными для такого применения. Может потребоваться гашение пульсаций, которое может выполняться с применением поршня, аккумуляторной диафрагмы или других эффективных средств. Флуктуации давления при измерении дифференциального давления и скорости потока (для расчета проводимости) должны поддерживаться в диапазоне менее 1,0 %. Каждая лаборатория должна определить наилучший способ гашения пульсаций. Большие всплески давления могут указывать на проблемы с насосом или захваченный в систему потока газ и должны быть исправлены до регистрации данных.

7.5 Датчики дифференциального давления

Удовлетворительными считаются датчики дифференциального давления, имеющие диапазон от 0 кПа до 7 кПа (от 0 фунтов на кв.дюйм до 1,0 фунта на кв.дюйм). Датчик должен обеспечивать измерение дифференциального давления с точностью до $\pm 0,1$ % от полной шкалы.

7.6 Регуляторы противодействия

Регулятор противодействия должен обеспечивать поддержание давления в диапазоне от 2,07 МПа до 3,45 МПа (от 300 фунтов на кв.дюйм до 500 фунтов на кв.дюйм). Напряжение, прилагаемое к камерам должно принимать в расчет противодействие. Например, если противодействие равно 3,45 МПа (500 фунтов на кв.дюйм), то приложенное напряжение должно быть больше 3,45 МПа (500 фунтов на кв.дюйм), чтобы учесть давление, оказываемое на поршни извне.

7.7 Весы

Весы должны обеспечивать минимальную грузоподъемность 100 г с точностью свыше 0,01 г.

7.8 Удаление кислорода

Испытательная жидкость для измерения проводимости должна иметь пониженное содержание кислорода, чтобы имитировать пластовые флюиды и свести к минимуму коррозию испытательного оборудования. Удаление кислорода можно выполнить с помощью системы двух резервуаров для жидкости. В первом резервуаре жидкость держат для удаления кислорода. Он соединен с подачей

газообразного азота, который барбатирует через испытательную жидкость при низком давлении, ниже 103 кПа (15 фунтов на кв.дюйм) и низкой скорости. Подаваемый азот сначала пропускают через ловушку кислорода/влаги, такую как ловушка Agilent модель OT3-4²⁾, имеющую эффективность удаления кислорода не менее 15 мкг/л. Можно создать эквивалентную систему; эта система позволяет пропускать азот через нагретую медную стружку при температуре 370 °C (698 °F), при этом медь вступает в реакцию со следовыми количествами кислорода в системе, образуя оксид меди. Индикаторная ловушка, такая как ловушка, удаляющая кислород Chrom Tech, Inc. part # 10T-4-HP³⁾, установленная после ловушки для удаления кислорода, позволяет визуально подтвердить, что кислород удален. Когда индикаторная визуальная ловушка насыщается кислородом, обе ловушки необходимо заменить, чтобы не снижать эффективность удаления кислорода. Во втором резервуаре содержится испытательная жидкость, не содержащая кислород; из этого резервуара и подается жидкость в насосную систему.

Все жидкости в каждом резервуаре держат в герметично закрытых контейнерах, из которых они вытесняются инертным газом, чтобы устранить возможность попадания в жидкость кислорода из воздуха.

7.9 Температурный контроль

Испытательная камера и расклинивающий наполнитель должны поддерживаться при желаемой температуре ± 1 °C (± 3 °F). Температура в условиях испытания измеряется в специальном входе камеры измерения проводимости, предназначенном для измерения температуры (см. рисунок С.1). Такую температуру используют для определения вязкости жидкости по таблице С.1. Термопару в сборе вставляют в устройство регулировки температуры и систему сбора данных или эквивалентное устройство. Устройства для регулировки температуры должны представлять собой программируемые PID-регуляторы и обеспечивать самонастройку на различные температурные условия и скорости потока.

Температуру 121 °C (250 °F) применяют в испытании для керамических и покрытых резиной зерен расклинивающих наполнителей, а температуру 66 °C (150 °F) для встречающихся в природе песков. Температуру для сосуда насыщения диоксидом (см. приложение В) рекомендуется брать на 11 °C (20 °F) выше температуры испытания 66 °C (150 °F) для природных песков. Температуру песка на 20 °C (35 °F) выше 121 °C (250 °F) используют для керамических и покрытых резиной зерен расклинивающих наполнителей, чтобы обеспечить насыщение жидкости диоксидом кремния до достижения испытательной камеры. Необходимо внимательно следить, чтобы жидкость поступала в испытательную камеру при соответствующей температуре. Испытания, в которых используются другие испытательные жидкости или температуры, могут быть полезными для оценки проводимости слоя расклинивающего наполнителя.

7.10 Насыщение диоксидом кремния и мониторинг

Чтобы предотвратить растворение песчаника Огайо и расклинивающего наполнителя критической операцией является пропускание через слой наполнителя раствора, насыщенного диоксидом кремния. Чтобы достичь этого, требуется цилиндр высокого давления минимальным объемом 300 мл на скорость потока 10 мл/мин, такой как цилиндр для проб Whitey 316L-HDF4⁴⁾, или равноценный, оснащенный трубками с наворачиваемыми концами 0,635 см (0,25 дюйма). В отношении сборки оборудования см. приложение В.

2) Agilent Model OT3-4 является примером продукции, имеющейся в продаже. Эта информация дается для удобства пользователей данной части ISO 13503 и не выражает предпочтения со стороны ISO в отношении данной продукции.

3) Chrom Tech, Inc. part # 10T-4-HP является примером продукции, имеющейся в продаже. Эта информация дается для удобства пользователей данной части ISO 13503 и не выражает предпочтения со стороны ISO в отношении данной продукции..

4) Цилиндр для проб Whitey 316L-HDF4 является примером продукции, имеющейся в продаже. Эта информация дается для удобства пользователей данной части ISO 13503 и не выражает предпочтения со стороны ISO в отношении данной продукции.

8 Калибровка оборудования

8.1 Индикаторы давления и скорости потока

Индикаторы давления, применяемые в потоке испытательной жидкости с противодавлением, необходимо калибровать до испытаний и поверять перед каждым испытанием. Насосы с постоянной скоростью потока должны пройти испытания при нескольких скоростях потока с приложенным противодавлением, с измерениями, осуществляемыми подходящими расходомерами, точными весами, используя контейнеры и таймер (секундомер). Датчики высокого и низкого давления перед каждым испытанием должны обнуляться. Необходимо использовать только ту часть диапазона датчика, которая повторяема и линейна.

8.2 Измерение нулевой (исходной) ширины слоя наполнителя

8.2.1 Цель

Чтобы точно измерить ширину слоя наполнителя, необходимо учесть изменения толщины песчаника, сжимаемость песчаника и сжатие и тепловое расширение металла.

8.2.2 Выполнение измерения

8.2.2.1 С помощью толщиномера измеряют и записывают толщину кернов и металлических прокладок. Карандашом помечают ширину с лицевой стороны керна. В каждую камеру помещают по два керна. Керны подбирают таким образом, чтобы общая толщина концов кернов была одинаковой. Нельзя использовать керны, отклонение которых от параллельности превышает 0,008 см (0,003 дюйма). Если нижний kern имеет неровности на протяжении от одного конца до другого, верхний kern должен компенсировать эти неровности, так чтобы общая толщина на каждом конце была одинаковой.

8.2.2.2 Коэффициент регулировки ширины или нулевая ширина слоя должны рассчитываться при каждом напряжении закрытия и температуре испытания для каждой испытательной камеры и для каждой контрольной партии песчаника Огайо и кольцевых уплотнителей. Измеряют вертикальный размер каждой укомплектованной испытательной установки [$\pm 0,0025$ см ($\pm 0,001$ дюйма)] оснащенной поршнями, квадратными кольцевыми уплотнителями, прокладками и кернами из песчаника, но без расклинивающего наполнителя, при каждом значении напряжения закрытия и температуре испытания, при которых будет испытываться расклинивающий наполнитель. Для каждого испытания, измеряют начальную нулевую ширину путем измерения вертикального размера поршней, прокладок и песчаных кернов. Это значение вычитают из измеренных значений для оборудования и наполнителя, чтобы получить фактическую ширину слоя наполнителя.

8.2.2.2.3 Поршни для базисной(ых) камер(ы) должны быть помечены в том порядке, в котором они будут устанавливаться. Помещают два подобранных керна в камеру и, если применяется несколько камер, в остальные камеры как на рисунке С.1.

8.2.2.2.4 Нагревают камеры до температуры, при которой будет проводиться испытание. Линейно наращивают напряжение закрытия со скоростью 689 кПа/мин (100 фунтов на кв.дюйм/мин).

8.2.2.2.5 Используя телескопические измерители и цифровые толщиномеры или эквивалентные средства измеряют поршень от рейки для измерения ширины до нижней пластины или от этой рейки до верхней пресс-пластины или до другой рейки. Все измерения должны выполняться дважды и оба значения получаться в пределах $\pm 0,0050$ см. Второе измерение снимают через 30 мин после снятия первого показания. Продолжают выполнять измерения, пока система не достигнет устойчивого состояния, например, пока полученные значения не будут отличаться более чем на 1 %. Необходимо получить три измерения. Последнее измерение регистрируют. Эта процедура учитывает сжатие кернов песчаника и расширение металла при давлении и температуре испытания. Эти значения используют в расчетах ширины слоя наполнителя (см. раздел 12). Продолжают измерения с указанными интервалами напряжения (см. раздел 12), пока не будет достигнута максимальная нагрузка.

8.3 Определение ширины камеры

Измеряют камеру изнутри в трех местах, в двух местах, расположенных около входов высокого и низкого давления, и в третьем месте около среднего входа, используя телескопические измерители и цифровые толщиномеры. Три полученных значения усредняют. Чтобы определить необходимое количество расклинивающего наполнителя, умножают среднюю ширину камеры на желательное количество наполнителя, деленное на 38,1 мм. Следующий пример рассчитан на количество загружаемого наполнителя 9,76 кг/м² (2,00 фунт/кв.фут) (см. 10.2.4).

ПРИМЕР $(38,35 \text{ мм} + 38,40 \text{ мм} + 38,37 \text{ мм})/3 = 38,37 \text{ мм}$.

Два фунта на кв.фут загрузки требует $(63,00 \text{ г}/38,10) \times 38,37 = 63,44 \text{ г}$ наполнителя.

8.4 Гидравлическая рама для нагружения

Калибровка рамы должна производиться, как минимум, раз в год, или когда результаты проводимости в течение длительного времени вызывают сомнения. Такой тип устройства предпочтителен при применении гидравлических измерителей напряжения как метод определения применяемого к испытательной камере напряжения закрытия. В некоторых случаях рама для нагружения является частью системы и должна быть калибрована с помощью внешнего источника.

9 Испытание на герметичность

9.1 Гидравлическая рама для нагружения

Гидравлическая система, т.е. линии, фитинги и насосы должны испытываться сначала и затем периодически, чтобы обеспечить герметичность. Это можно выполнить путем помещения подходящего бруска высокопрочного материала, имеющего площадь поверхности не менее 64,5 см² (10,0 дюйм²) между пластинами при максимальной нагрузке; запирают и наблюдают, будет ли происходить изменение давления или будут ли нагрузки выходить за пределы $\pm 2\%$ от максимального показания в течение 30 мин. Если давление или нагрузка изменяются значительно, проверяют все линии и фитинги. Если отсутствие протечки на всех линиях очевидно, может иметься внутренняя утечка в регулировочном клапане или гидравлическом плунжере.

9.2 Система испытательной жидкости

Начальная укомплектованная система испытательной жидкости, состоящая из насоса, линий и установки для определения проводимости должна проверяться на герметичность. Чтобы выполнить испытание на герметичность, установка для определения проводимости должна содержать как минимум монослой материала расклинивающего наполнителя.

ПРИМЕЧАНИЕ Без наполнителя между пластинами нельзя испытывать ни кольцевые уплотнители, ни оборудование, расположенное после рамы для нагружения.

Прикладывают напряжение закрытия выше 3,45 МПа (500 фунтов на кв.дюйм) к установке для измерения проводимости и пропускают жидкость через систему с противодавлением от 2,07 МПа до 3,45 МПа (300 фунтов на кв.дюйм до 500 фунтов на кв.дюйм). Напряжение закрытия в системе и давление не должны изменяться более чем на 0,1 кПа (0,01 фунта на кв.дюйм) в течение 5 мин. Проверяют все линии и фитинги.

10 Процедура загрузки испытательной камеры

10.1 Подготовка испытательной установки

10.1.1 Выбор керна

См. 8.2.2

10.1.2 Установка песчаных кернов

10.1.2.1 После выбора кернов накладывают прозрачную пленку на верх и низ керна, чтобы не прилипал материал уплотнителя. С помощью острого ножа срезают лишнюю пленку. Помещают прозрачную пленку на все входные отверстия внутри камер и верхнюю часть нижнего поршня. Записывают среднюю ширину песчаного керна.

10.1.2.2 С помощью шпателя наносят тонкий слой высокотемпературного вулканизированного при комнатной температуре (RTV) силиконового клевого герметика по бокам кернов. Дают RTV затвердеть.

10.1.2.3 Альтернативным методом подготовки кернов является помещение кернов в испытательную установку. Выравнивают нижний поршень в пределах 0,13 мм (0,005 дюйма) от конца до конца и затягивают установочные винты. Слегка покрывают внутреннюю часть камеры силиконовой смазкой. Помещают керн с меткой и прозрачной пленкой в камеру. В камере можно установить до четырех кернов одновременно, нанося RTV вокруг кромок каждого керна, прежде чем поместить его в камеру или эквивалентную форму. Дают RTV затвердеть.

10.1.2.4 Помещают верхний поршень в камеру для определения проводимости. Помещают камеры в пресс и прикладывают давление закрытия от 0,3 МПа (50 фунтов на кв.дюйм) до 1 МПа (150 фунтов на кв.дюйм). Присоединяют нагревательные пластинки и нагревают до температуры 66 °C (150 °F) в течение одного часа. Извлекают бруски кернов. Удаляют избыток RTV с поверхности предварительно установленного керна и убеждаются, что на керне нет отслоений или трещин.

ПРИМЕЧАНИЕ Если нагревание не применяется, RTV отверждается в течение 24 ч.

10.2 Установка испытательной камеры

10.2.1 Установка нижнего поршня

Камеры компонуют в таком же порядке, в котором измерялись значения нулевой ширины слоя наполнителя (см. 8.2.2). Можно использовать блоки для удержания камеры на месте, так чтобы песчаный керн был примерно в 0,02 мм (0,000 8 дюйма) или даже ниже портов дифференциального давления. Этого можно достичь, поместив одну металлическую подкладку и песчаный керн без RTV на поршне в камеру. Когда высота керна находится примерно в нужном положении, затягивают установочные винты, чтобы зафиксировать положение камеры, и удаляют прокладку и песчаный керн, чтобы установить кольцевой уплотнитель. Защищают целостность кольцевого уплотнителя.

10.2.2 Установка нижнего керна

Измеряют металлическую прокладку и записывают ее толщину. Разности между толщинами прокладок из 8.2.2.1 необходимо принять в расчет. Помещают прокладку на дно камеры. Наносят тонкую пленку RTV вокруг кромки на выбранный керн (см. 8.2.2.1). С помощью шпателя сглаживают RTV, чтобы разровнять поверхность, не давая RTV попасть на грани керна. Снимают пленку с нижней части керна и вдвигают керн в камеру, пока он не коснется прокладки. Наносят RTV по кромке границы керн-камера и вталкивают RTV в зазор ватным тампоном. Избыток RTV и верхнюю пленку удаляют.

10.2.3 Размещение сеток

Сетки необходимы для того, чтобы твердые частицы не вытекали из слоя наполнителя или не забивали входные отверстия. Помещают сетки с размером ячейки 150 мкм (100 меш США) из ткани Monel или эквивалентной на все входные и выходные отверстия и отверстия дифференциального давления. После каждого испытания сетки необходимо менять, поскольку они забиваются раскрошенным наполнителем.

10.2.4 Расчет количества расклинивающего наполнителя

Проводимость можно измерять в объемном эквиваленте к 0,64 см (0,25 дюйма) ширины ненагруженного слоя наполнителя или в пересчете на массу на единицу площади поверхности камеры, например, 9,76 кг/м² (2,00 фунт-масса/фут²).

Рассчитывают желаемое количество материала наполнителя, используя один из примеров расчетов, описанных ниже:

а) Масса на единицу площади, выраженная в килограммах на метр квадратный:

Загружают желаемое количество наполнителя, которое можно рассчитать по формуле (1):

$$M_p = 6,452 C \quad (1)$$

где

M_p масса расклинивающего наполнителя, выраженная в граммах;

C загрузка наполнителя, выраженная в килограммах на квадратный метр.

6,452 = 0,006 452 м² × 1 000 г/кг, где 0,006 452 м² площадь поверхности камеры. Точное количество наполнителя меняется в зависимости от ширины используемой камеры (см. 8.3).

Ширину ненагруженного слоя наполнителя можно примерно рассчитать по формуле (2):

$$W_f = 0,100 C/\rho \quad (2)$$

где

W_f ширина слоя наполнителя, выраженная в сантиметрах;

C загрузка наполнителя, выраженная в килограммах на квадратный метр;

ρ насыпная (объемная) плотность наполнителя, выраженная в граммах на кубический сантиметр [16].

б) Ширина ненагруженного слоя наполнителя равна 6,35 мм (0,25 дюйма)

Загружают в испытательную камеру $41,0 \pm 0,1$ см³ материала расклинивающего наполнителя. Примерную массу требуемого материала наполнителя можно рассчитать по формуле (3):

$$M_p = 41,0 \rho \quad (3)$$

где

M_p масса наполнителя, выраженная в граммах;

ρ насыпная (объемная) плотность наполнителя, выраженная в граммах на кубический сантиметр [16].

41,0 равно $64,52 \text{ см}^2$ (10,0 кв. дюймов) умножить на 0,635 см (0,25 дюйма) ширины слоя. Точное количество наполнителя меняется в зависимости от ширины используемой камеры (см. 8.3).

10.2.5 Загрузка расклинивающего наполнителя в камеру(ы)

10.2.5.1 Взвешивают репрезентативную пробу на основе одного из приведенных выше расчетов.

10.2.5.2 Делят пробу на 4 части. Засыпают четверть пробы, по возможности, равномерно в камеру. Продолжают эту процедуру пока все четыре части не будут загружены.

10.2.5.3 Выравнивают слой наполнителя в испытательной установке с помощью уровня (см. рисунок С.6), выполняя все более глубокие проходы для выравнивания наполнителя в камере. Расклинивающий наполнитель не допускается подвергать для уплотнения вибрации или трамбовке, поскольку это может вызвать агрегацию материала. Необходимо убедиться, что наполнитель выровнен относительно стенок камеры.

10.2.6 Установка верхнего керна

10.2.6.1 Наносят тонкую пленку RTV по кромке предварительно установленного керна (см. 10.1.2). С помощью шпателя (или аналогичного приспособления), сглаживают RTV, чтобы получить ровную поверхность, не давая RTV попасть на грани керна.

10.2.6.2 Снимают нижнюю пленку с керна и вдвигают керн в камеру равномерно. Наносят RTV по границе керн-камера и вдавливают RTV в зазор ватным тампоном.

10.2.6.3 Измеряют с помощью цифрового толщиномера глубину керна во всех четырех углах, подтверждая, что керн выровнен в пределах 0,1 мм (0,004 дюйма) и сделав все необходимые корректировки. Снимают пленку с верхней части керна.

10.2.7 Компоновка камер

В пресс можно поместить несколько камер (см. рисунок С.1). Можно использовать блоки и прокладки для регулирования высоты камеры в пределах 0,1 мм (0,004 дюйма). Используют ту же процедуру для загрузки камер, которая описана в 10.2.5. Затягивают установочные винты.

11 Нагружение камер(ы) в прессе

11.1 Помещают испытательную установку между пластинами рамы для нагружения.

11.2 Прикладывают 345 кПа (50 фунтов на кв.дюйм) к комплекту камер. Для проверки того, что сборка перпендикулярна пластинам, используют прямоугольный треугольник. Выполняют необходимую корректировку, чтобы обеспечить перпендикулярность комплекта камер пластинам. Увеличивают давление с 345 кПа (50 фунтов на кв.дюйм) до 3,45 МПа (500 фунтов на кв.дюйм) со скоростью примерно 690 кПа/мин (100 фунтов на кв.дюйм /мин).

11.3 Создают поток через камеры. Проверяют герметичность вокруг поршней и в соединениях. Если наблюдается утечка вокруг поршней, испытание необходимо прервать и загрузить в камеры новый материал. Проверяют равномерность слоя наполнителя путем измерения ширины слоя наполнителя с каждого конца испытательной установки. Если разность между этими измерениями составляет 5 % или больше, испытание необходимо прервать и загрузить в камеры новый материал.

11.4 Удаляют воздух из камеры и линий датчика, продувая камеры и линии. Линии продувают в течение не менее 1 мин после того, как пузырьков воздуха становится не видно. Обнуляют датчики в соответствии с инструкциями изготовителя без потока.

12 Сбор данных

Начальное абсолютное напряжение 6,89 МПа (1 килофунт на кв.дюйм) прикладывают в течение не менее 12 ч и не более 24 ч при требуемой температуре (см. 7.9). Противодействие должно поддерживаться между 2,07 МПа (300 фунтов на кв.дюйм) и 3,45 МПа (500 фунтов на кв.дюйм). Это значение должно приниматься в расчет при определении прилагаемого напряжения. После достижения начального напряжения 6,89 МПа (1 килофунт на кв.дюйм) и времени, поднимают напряжение до 13,79 МПа (2 килофунта на кв.дюйм). Напряжения, прилагаемые к слою наполнителя после начального напряжения, должны удерживаться до 50 ч \pm 2 ч; в любом случае результат, полученный при удержании под нагрузкой менее 48 ч, не должен считаться долгосрочной проводимостью. Затем нагрузку необходимо увеличивать приращениями по 13,79 МПа (2 килофунта на кв.дюйм). Скорость линейного изменения должна быть в пределах 689 кПа/мин \pm 34 кПа/мин (100 фунтов на кв.дюйм /мин \pm 5 фунтов на кв.дюйм /мин).

Проводимость должна измеряться при 13,79 МПа; 27,58 МПа и 41,37 МПа (2 килофунта на кв.дюйм, 4 килофунта на кв.дюйм и 6 килофунтов на кв.дюйм) для природных песков. Для керамических и покрытых резиной зерен расклинивающих наполнителей проводимость должна измеряться при 13,79 МПа; 27,58 МПа; 41,37 МПа; 55,16 МПа и 68,95 МПа (2 килофунта на кв.дюйм, 4 килофунта на кв.дюйм, 6 килофунтов на кв.дюйм, 8 килофунтов на кв.дюйм и 10 килофунтов на кв.дюйм). Дополнительные уровни нагрузки берутся на усмотрение испытателя.

Скорости потока в испытании определяют в соответствии с падением давления между точками подачи давления. Сначала скорость потока должна быть 2 мл/мин или минимум 0,01 кПа (0,002 фунта на кв.дюйм). Чтобы обеспечить получение данных в статистических пределах, необходимо взять не менее пяти результатов и среднюю проницаемость (см. раздел 13) сообщать в диапазоне от 2 мл/мин до 4 мл/мин или не менее 0,01 кПа до 0,03 кПа (0,002 фунта на кв.дюйм до 0,004 фунта на кв.дюйм). Сообщают уровни нагрузки.

Ширину слоя наполнителя необходимо измерять при каждой нагрузке и рассчитать с учетом сжатия песчаных кернов и расширения металла (см. 8.2). Перед каждым измерением датчики дифференциального давления необходимо обнулить.

13 Расчет проницаемости и проводимости

13.1 Уравнения (4) - (8) должны использоваться для расчета проницаемости слоев расклинивающего наполнителя для жидкости в условиях ламинарного (дарси) потока:

$$k = \mu QL / [100 A(\Delta P)] \quad (\text{в единицах СИ}) \quad (4)$$

$$k = \mu QL / [A(\Delta P)] \quad (\text{в традиционных единицах США}) \quad (5)$$

где

- k проницаемость слоя наполнителя, выраженная в квадратных микрометрах (дарси);
- μ вязкость испытательной жидкости при температуре испытания, выраженная в сантипуазах;
- Q скорость потока, выраженная в кубических сантиметрах в секунду;
- L расстояние между точками подачи давления, выраженное в сантиметрах;
- A площадь поперечного сечения испытательной установки перпендикулярно потоку, выраженная в квадратных сантиметрах;
- ΔP падение давления (давление выше по течению минус давление ниже по течению), выраженное в килопаскалях (атмосферах).

Для удобства, коэффициенты преобразования можно найти в приложении А.

Если форма поперечного сечения слоя наполнителя прямоугольная, как в разрыве, то площадь поперечного сечения можно задать равенством (6):

$$A = w \cdot W_f \tag{6}$$

где

A площадь поперечного сечения перпендикулярно потоку, выраженная в квадратных сантиметрах;

w ширина камеры, выраженная в сантиметрах;

W_f ширина слоя, выраженная в сантиметрах.

Уравнения (4) и (5) можно переписать таким образом, чтобы можно было рассчитать либо проницаемость, либо проводимость слоя наполнителя.

Чтобы рассчитать проницаемость слоя расклинивающего наполнителя, используют формулы (7) и (8):

$$k = \mu Q L I [100 w (DP) W_f] \quad \text{(в единицах СИ)} \tag{7}$$

$$k = \mu Q L I [w (DP) W_f] \quad \text{(в традиционных единицах США)} \tag{8}$$

13.2 Чтобы рассчитать проводимость слоя расклинивающего наполнителя, используют формулы (9) и (10):

$$k W_f = \mu Q L I [100 w (DP)] \quad \text{(в единицах СИ)} \tag{9}$$

$$k W_f = \mu Q L I [w (DP)] \quad \text{(в традиционных единицах США)} \tag{10}$$

13.3 Информацию и упрощенные уравнения в 13.3 а) и б) можно использовать при применении констант (см. ПРИМЕЧАНИЕ ниже)

а) Для проводимости слоя наполнителя:

$$k W_f = 5,554 \mu Q L I (DP) \quad \text{(в единицах СИ)} \tag{11}$$

$$k W_f = 26,78 \mu Q I (DP) \quad \text{(в традиционных единицах США)} \tag{12}$$

где

kW_f проводимость слоя расклинивающего наполнителя, выраженная в кв.микрометр-сантиметрах (миллидарси-футах);

μ вязкость испытательной жидкости при температуре испытания, выраженная в сантипуазах (см. таблицу С.1);

Q скорость потока, выраженная в кубических сантиметрах в минуту;

ΔP падение давления (давление выше по течению минус давление ниже по течению), выраженное в килопаскалях (фунтах на кв.дюйм);

L расстояние между точками подачи давления, выраженное в сантиметрах.

b) Для проницаемости слоя расклинивающего наполнителя:

$$k = 100 \mu Q / [w(\Delta P)W_f] \quad (\text{в единицах СИ}) \quad (13)$$

$$k = 321,4 \mu Q / [(\Delta P)W_f] \quad (\text{в традиционных единицах США}) \quad (14)$$

где

k проницаемость слоя расклинивающего наполнителя, выраженная в квадратных микрометрах (миллидарси);

W_f ширина слоя наполнителя, выраженная в сантиметрах (дюймах);

ΔP падение давления (давление выше по течению минус давление ниже по течению), выраженное в килопаскалях (фунтах на кв.дюйм);

w ширина камеры, выраженная в сантиметрах.

ПРИМЕЧАНИЕ Следующие размеры были использованы в расчетах констант, показанных в формулах (11) - (14)

- Ширина испытательной установки, $w = 3,81$ см (1,5 дюйма);
- Фактическая ширина камеры регулируется в соответствии с 8.3;
- Расстояние между точками подачи давления, $L = 12,70$ см (5,000 дюймов).

14 Сообщение данных

Данные, которые необходимо сообщить, должны включать все параметры, такие как тип песчаника, температура, время, испытательная жидкость, проводимость и проницаемость при каждом уровне нагрузки (напряжения), насыпная (объемная) плотность, распределение сит, удельная масса и/или кажущаяся удельная масса и концентрация наполнителя.

Приложение А (информативное)

Коэффициенты преобразования

ПРИМЕЧАНИЕ См. ссылку [17].

1 фут = 0,304 8 м

1 дюйм = 2,54 см

1 дарси = 1 000 миллидарси = 0,986 9 мкм²

1 фунт-масса = 453,6 г

1 фунт-сила = 4,448 Н

1 фунт на кв.дюйм = 6,895 кПа

1 атм = 14,7 фунтов на кв.дюйм = 101,3 кПа

1 мл = 1 000 см³

°F = (1,80 × °C) + 32

1 сПуаз = 1 мПа·с

Приложение В (нормативное)

Устройство сосуда для насыщения диоксидом кремния

В.1 Исходные данные

Жидкость, текущая через слои расклинивающего наполнителя между гранями песчаных кернов может вызвать растворение диоксида кремния и, следовательно, аномальное разрушение зерен, или увеличить заделывание при напряжениях закрытия. По этой причине и для имитации пластового флюида испытательную жидкость необходимо насытить диоксидом кремния, чтобы предотвратить разрушение расклинивающего наполнителя или материала керна. Растворимость диоксида кремния в воде в первую очередь является функцией температуры и pH, а ионная сила и давление – факторы вторичные.

В.2 Аппаратура

В.2.1 Цилиндр высокого давления или сосуд для насыщения диоксидом кремния, минимальным объемом 300 мл на скорость потока 10 мл/мин.

В.2.2 Сетка из материала Monel или нержавеющей стали 316 с размером ячеек 150 мкм (100 меш США), для размещения на входных и выходных фитингах цилиндра для предотвращения движения кварцевого песка.

В.2.3 Кварцевый песок 20/40 меш или смесь кварцевого песка 20/40 меш и 12/20 меш по 50 % каждого, промытый, 50 мл.

В.2.4 Кварцевый песок 70/140 меш, промытый и просушенный, 250 мл.

Кварцевый песок 70/140 меш, в состав которого входит свыше 99,7 % диоксида кремния и менее 0,05 % железа, считается удовлетворительным для поставленной задачи.

В.2.5 Нагревательная рубашка, с термостатическим контролем, температурные пределы контроля ± 2 °C, рубашка надевается на цилиндр.

Температура сосуда для насыщения диоксидом кремния должна быть на 11 °C (20 °F) выше температуры испытания 66 °C (150 °F) для природных песков и на 20 °C (35 °F) выше 121 °C (250 °F) для покрытых резиной и керамических зерен расклинивающих наполнителей, чтобы обеспечить насыщение испытательной жидкости диоксидом кремния до попадания в испытательную камеру. Необходимо обеспечить, чтобы жидкость, поступающая в камеру, находилась при соответствующей температуре.

В.2.6 Поточный фильтр из нержавеющей стали, включающий сетку 7 мкм для предотвращения попадания твердых частиц в испытательную камеру из колонки с диоксидом кремния.

В.3 Проведение насыщения

Необходимо отрегулировать pH жидкости в диапазоне от 6,4 до 6,8 с помощью соляной кислоты или гидроксида калия, чтобы имитировать пластовые флюиды и снизить скорость растворения диоксида кремния из песка. Колонка насыщения диоксидом кремния должна располагаться в линии перед входом в испытательную камеру. От одной песчаной колонки должно идти максимум две испытательные камеры, и скорость прерывистого потока через песчаную колонку не должна превышать 11 мл/мин. Скорость непрерывного потока не должна превышать 4 мл/мин.

Помещают сетку в фитинг и присоединяют этот фитинг к нижней части цилиндра. Помещают слоем 25 мл промытого кварцевого песка 20/40 меш или смеси кварцевого песка 20/40 меш и 12/20 меш по 50 % каждого в колонку для предотвращения вытекания частиц размером 70/140 меш. Добавляют примерно 250 мл промытого и просушенного кварцевого песка 70/140 меш поверх кварцевого песка 20/40 меш или смеси кварцевого песка 20/40 меш и 2/20 меш по 50 % каждого. Подвергают цилиндр вибрации в течение нескольких секунд для уплотнения песка. Затем добавляют остальной кварцевый песок 20/40 меш или смесь кварцевого песка 20/40 меш и 12/20 меш по 50 % каждого, пока цилиндр не заполнится. Помещают сетку в фитинги, и присоединяют фитинги к цилиндру.

Помещают сосуд для насыщения диоксидом кремния в поток перед камерами. На цилиндр надевают нагревательную рубашку. Мониторинг уровня насыщения диоксидом кремния можно выполнять путем отбора проб жидкости в трех точках:

- До колонки насыщения диоксидом;
- Перед входом в испытательную камеру;
- На выходе из испытательной камеры.

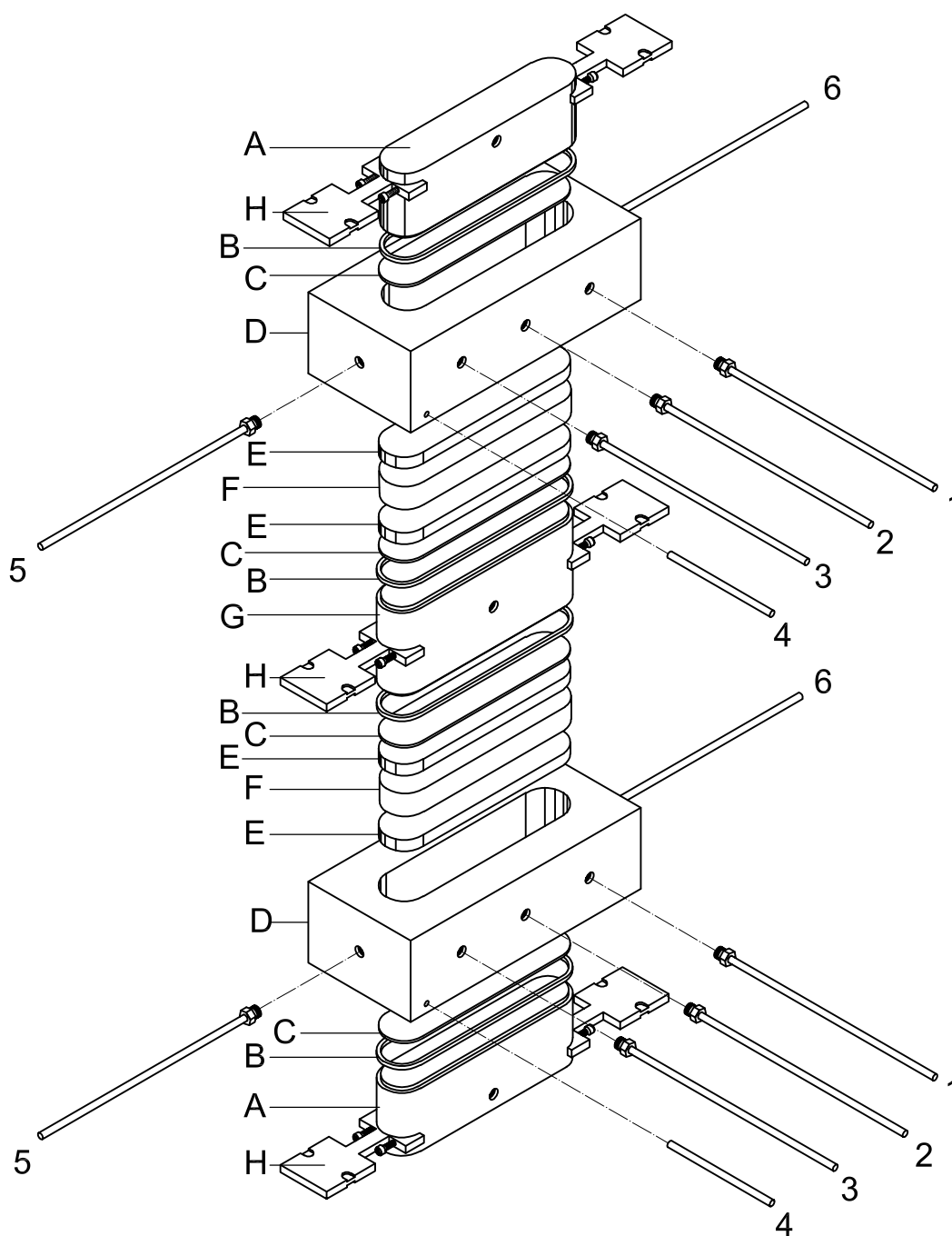
Содержание диоксида считается остающимся в рекомендованных пределах концентрации при условии, что pH, температуры и скорости потока регулируются. Это позволяет проводить испытание без непрерывного мониторинга.

Собранные пробы оценивают с помощью атомно-абсорбционного прибора или мокрым химическим методом, таким как колориметрический метод с помощью кремнемолибдата, чтобы определить диоксид на уровне миллиграммов на литр. Увеличение диоксида на 2 мг/л между колонкой с диоксидом и выходом из испытательной камеры является приемлемым пределом насыщения.

Приложение С (информативное)

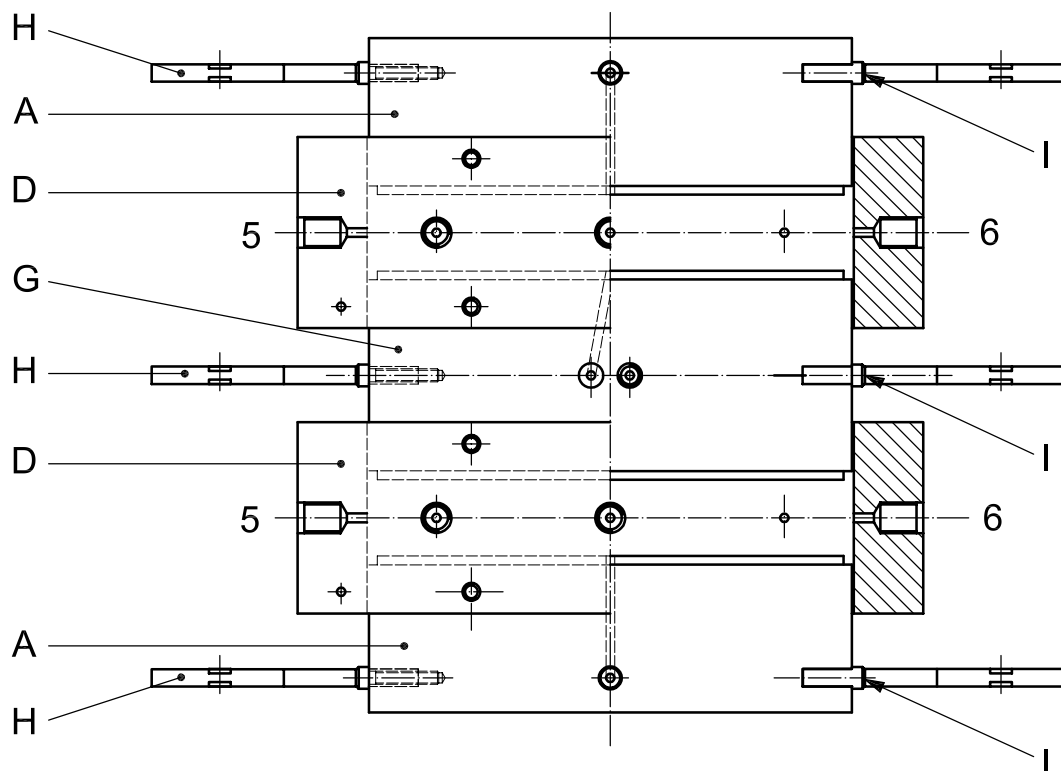
Рисунки

Размеры в миллиметрах



а) Покомпонентное представление изображения

Рисунок С.1 — Сборка камер для определения проводимости (см. также рисунки С.2 - С.5)



b) Вид сборки сбоку

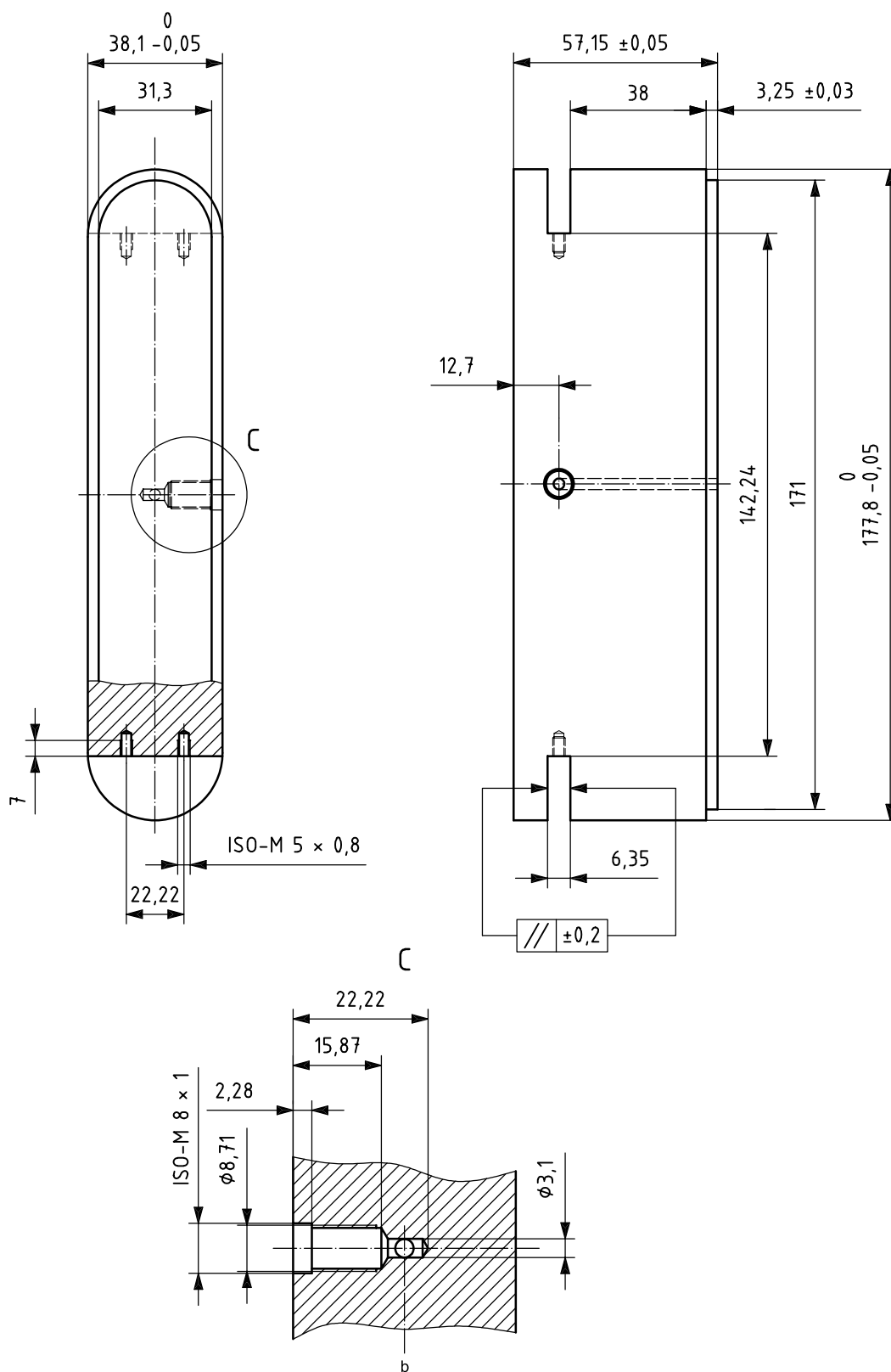
Обозначение

- 1 вход низкого давления
- 2 средний вход
- 3 вход высокого давления
- 4 датчик температуры
- 5 вход в камеру
- 6 выход из камеры
- A верхний и нижний поршень
- B прямоугольный кольцевой уплотнитель
- C металлическая прокладка
- D корпус испытательной камеры
- E песчанник Огайо
- F расклинивающий наполнитель
- G центральный поршень
- H рейка для измерения ширины
- I установочные винты

ПРИМЕЧАНИЕ Рисунки сделаны не в масштабе.

Рисунок С.1 (продолжение)

Размеры в миллиметрах



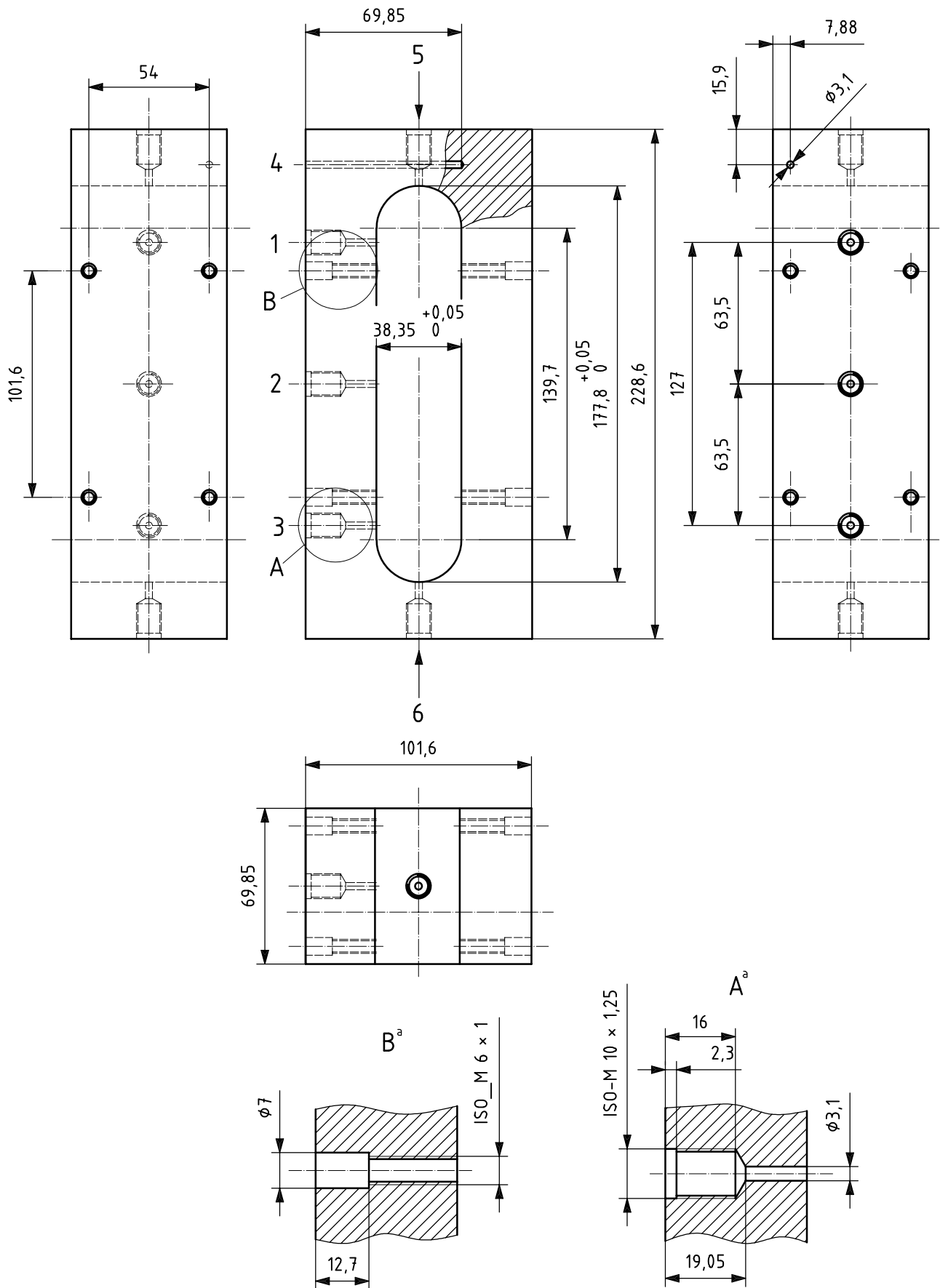
Шероховатость поверхности внутренней матрицы: 2,5 и Ra и 4

a Не в масштабе.

b L. центр.

Рисунок С.2 — Верхний и нижний поршни

Размеры в миллиметрах



Обозначение

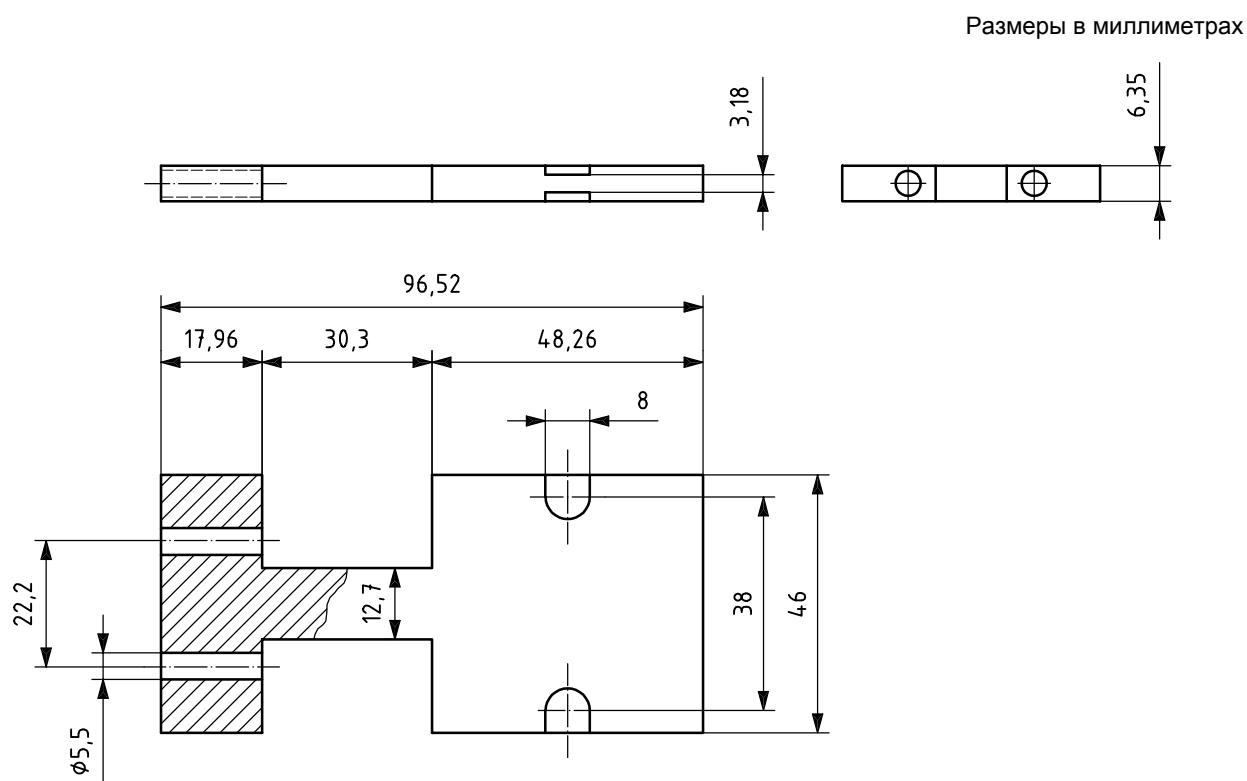
- 1 вход низкого давления
- 2 средний вход
- 3 вход высокого давления
- 4 датчик температуры
- 5 вход в камеру
- 6 выход из камеры

Обработка поверхности внутренней матрицы: 2,5 и Ra и 4.

Обе стороны камеры должны иметь фаски 1,5 мм × 1,5 мм.

a Не в масштабе.

Рисунок С.3 — Корпус испытательной камеры

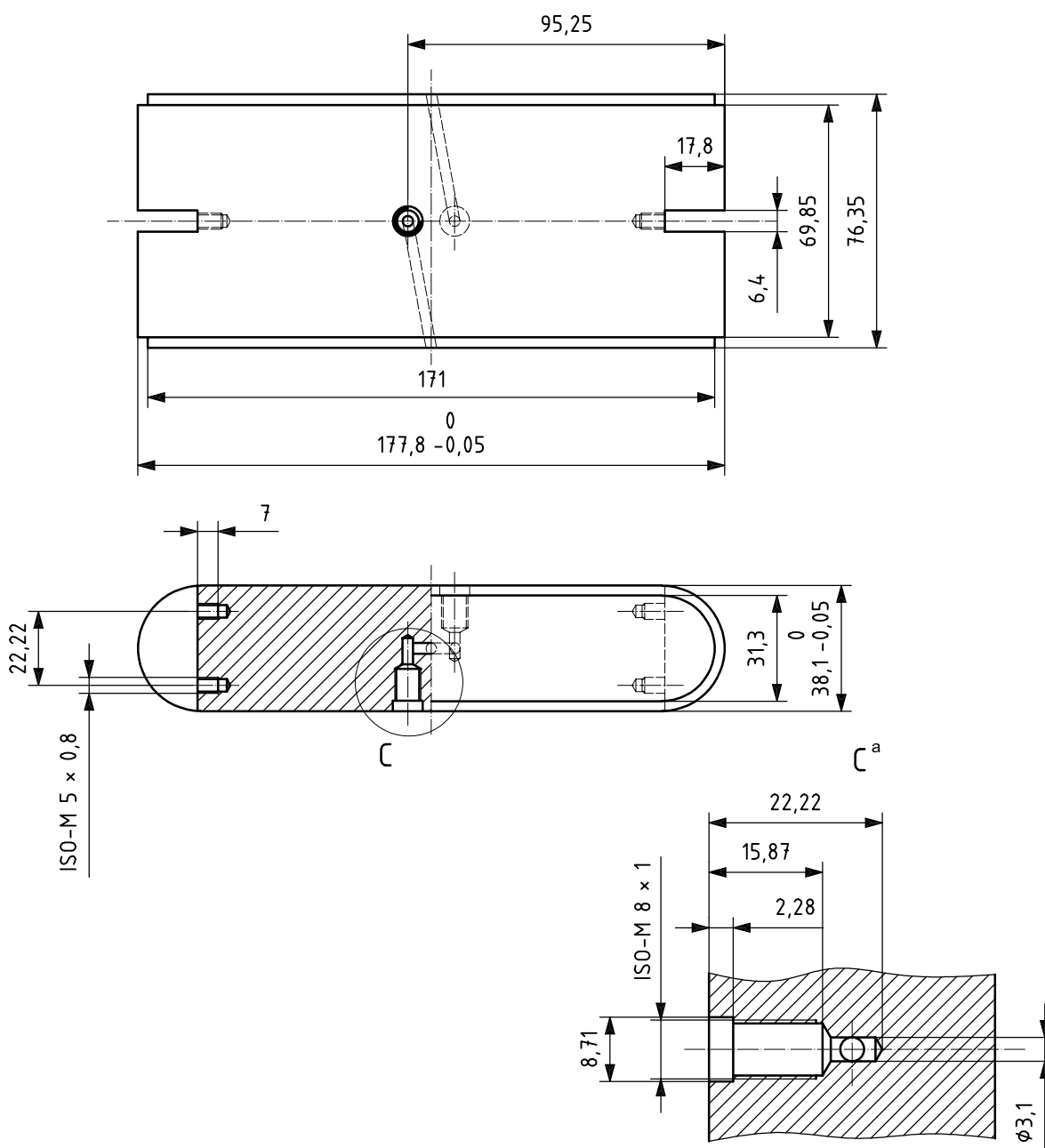


Обработка поверхности внутренней матрицы: 2,5 и Ra и 4.

Без острых кромок.

Рисунок С.4 — Рейка для измерения ширины

Размеры в миллиметрах

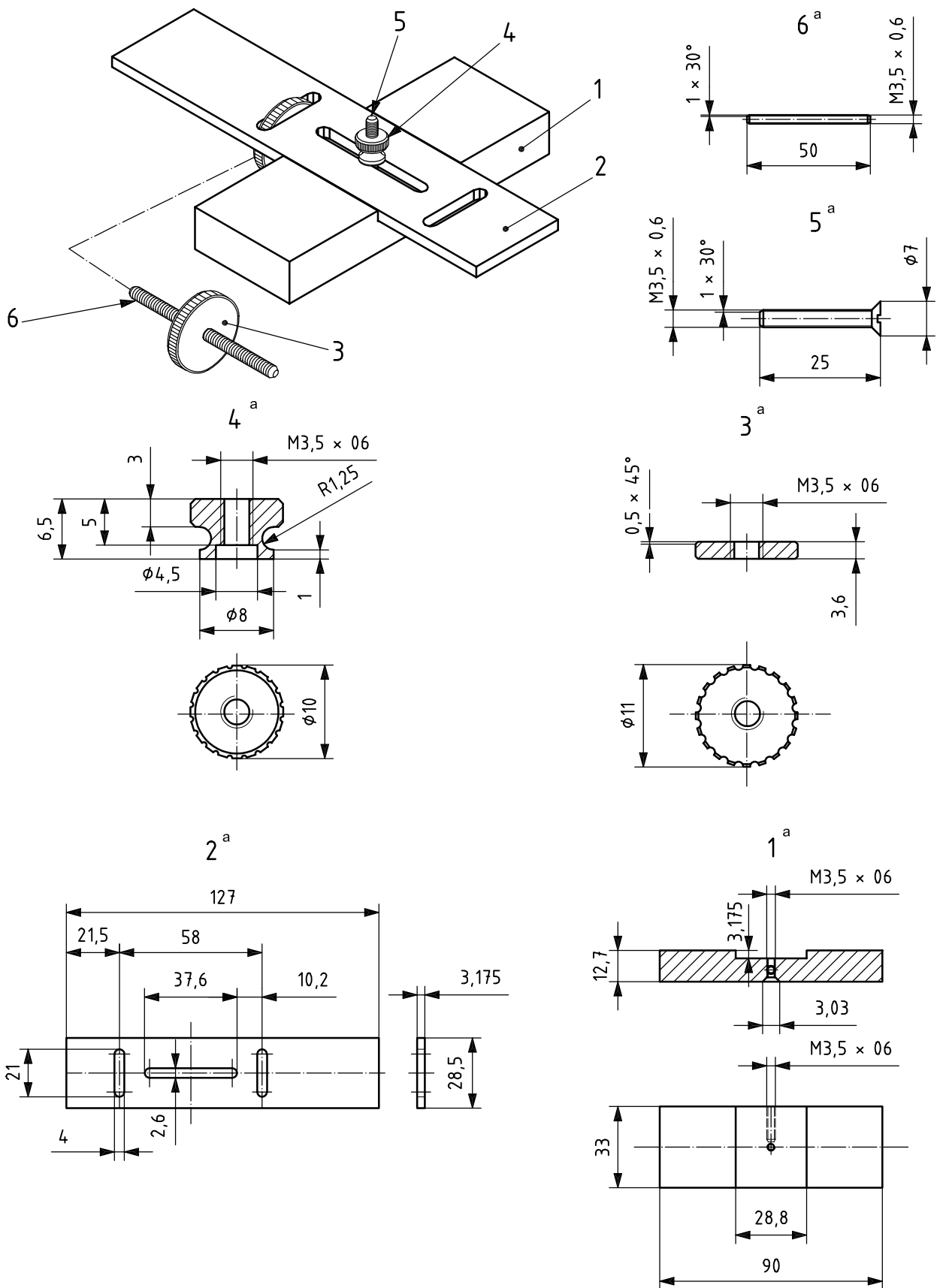


Обработка поверхности внутренней матрицы: 2,5 и Ra и 4.

^a Не в масштабе.

Рисунок С.5 — Центральный поршень

Размеры в миллиметрах



Обозначение

- 1 опора поверочной линейки
- 2 поверочная линейка
- 3 регулировочный винт с гайкой
- 4 гайка
- 5 винт R-3,5 × 0,6
- 6 винт M-3,5 × 0,6
- a Не в масштабе.

Рисунок С.6 — Выравнивающее устройство (уровень)

Таблица С.1 — Вязкость и температура 2 % КСl

Температура		Вязкость сP
°C	°F	
21,1	70	1,000 0
21,7	71	0,990 0
22,2	72	0,973 0
22,8	73	0,960 0
23,3	74	0,950 0
23,9	75	0,930 0
24,4	76	0,915 0
25,0	77	0,905 0
25,6	78	0,900 0
26,1	79	0,890 0
26,7	80	0,877 5
27,2	81	0,872 5
27,8	82	0,862 5
28,3	83	0,855 0
28,9	84	0,845 0
29,4	85	0,840 0
30,0	86	0,830 0
30,6	87	0,823 0
31,1	88	0,815 0
31,7	89	0,807 5
32,2	90	0,795 0
32,8	91	0,790 0
33,3	92	0,780 0
33,9	93	0,775 0
34,4	94	0,763 0
35,0	95	0,755 0

Температура		Вязкость сP
°C	°F	
35,6	96	0,747 5
36,1	97	0,740 0
36,7	98	0,732 5
37,2	99	0,725 0
37,8	100	0,718 0
38,3	101	0,712 5
38,9	102	0,706 0
39,4	103	0,699 0
40,0	104	0,691 0
40,6	105	0,685 0
41,1	106	0,677 5
41,7	107	0,670 0
42,2	108	0,665 0
42,8	109	0,655 0
43,3	110	0,648 0
43,9	111	0,640 0
44,4	112	0,634 0
45,0	113	0,627 5
45,6	114	0,622 0
46,1	115	0,615 0
46,7	116	0,608 0
47,2	117	0,602 5
47,8	118	0,596 0
48,3	119	0,588 0
48,9	120	0,582 0
49,4	121	0,577 5

Температура		Вязкость сP
°C	°F	
50,0	122	0,572 0
50,6	123	0,567 5
51,1	124	0,561 0
51,7	125	0,557 0
52,2	126	0,552 0
52,8	127	0,547 0
53,3	128	0,542 0
53,9	129	0,537 5
54,4	130	0,532 5
55,0	131	0,528 0
55,6	132	0,524 5
56,1	133	0,520 0
56,7	134	0,516 0
57,2	135	0,512 0
57,8	136	0,508 0
58,3	137	0,503 0
58,9	138	0,499 5
59,4	139	0,495 0
60,0	140	0,491 0
60,6	141	0,487 5
61,1	142	0,484 0
61,7	143	0,480 0
62,2	144	0,477 0
62,8	145	0,472 5
63,3	146	0,468 0
63,9	147	0,465 0

Температура		Вязкость сP
°C	°F	
64,4	148	0,462 0
65,0	149	0,457 5
65,6	150	0,454 5
66,1	151	0,451 0
66,7	152	0,447 5
67,2	153	0,444 0
67,8	154	0,440 5
68,3	155	0,437 5
68,9	156	0,434 0
69,4	157	0,430 0
70,0	158	0,427 0
70,6	159	0,423 0
71,1	160	0,419 0
71,7	161	0,417 5
72,2	162	0,414 0
72,8	163	0,412 0
73,3	164	0,407 5
73,9	165	0,405 0
74,4	166	0,402 0
75,0	167	0,398 0
75,6	168	0,396 0
76,1	169	0,392 5
76,7	170	0,390 0
77,2	171	0,387 5
77,8	172	0,385 0
78,3	173	0,382 5

Температура		Вязкость
°C	°F	cP
78,9	174	0,380 0
79,4	175	0,377 5
80,0	176	0,375 0
80,6	177	0,372 5
81,1	178	0,370 0
81,7	179	0,367 5
82,2	180	0,364 5
82,8	181	0,362 5
83,3	182	0,359 0
83,9	183	0,357 5
84,4	184	0,355 0
85,0	185	0,352 5
85,6	186	0,350 0
86,1	187	0,347 5
86,7	188	0,345 0
87,2	189	0,342 5
87,8	190	0,341 0
88,3	191	0,338 0
88,9	192	0,336 5
89,4	193	0,335 0
90,0	194	0,332 5
90,6	195	0,330 5
91,1	196	0,328 0
91,7	197	0,326 0
92,2	198	0,324 5
92,8	199	0,322 5
93,3	200	0,321 0
93,9	201	0,319 0
94,4	202	0,317 5
95,0	203	0,316 0
95,6	204	0,314 0
96,1	205	0,312 5
96,7	206	0,311 0
97,2	207	0,308 5
97,8	208	0,307 5
98,3	209	0,306 5
98,9	210	0,304 5
99,4	211	0,302 5

Температура		Вязкость
°C	°F	cP
100,0	212	0,301 0
100,6	213	0,299 0
101,1	214	0,298 0
101,7	215	0,296 0
102,2	216	0,294 5
102,8	217	0,293 0
103,3	218	0,292 0
103,9	219	0,290 5
104,4	220	0,288 0
105,0	221	0,287 0
105,6	222	0,286 0
106,1	223	0,284 0
106,7	224	0,282 5
107,2	225	0,281 0
107,8	226	0,280 0
108,3	227	0,278 0
108,9	228	0,276 5
109,4	229	0,275 0
110,0	230	0,274 0
110,6	231	0,272 5
111,1	232	0,271 0
111,7	233	0,270 0
112,2	234	0,268 5
112,8	235	0,267 5
113,3	236	0,266 0
113,9	237	0,265 0
114,4	238	0,264 0
115,0	239	0,262 5
115,6	240	0,261 0
116,1	241	0,259 0
116,7	242	0,258 0
117,2	243	0,257 0
117,8	244	0,255 5
118,3	245	0,254 0
118,9	246	0,253 0
119,4	247	0,252 0
120,0	248	0,251 0
120,6	249	0,249 5

Температура		Вязкость
°C	°F	cP
121,1	250	0,248 0
121,7	251	0,247 0
122,2	252	0,245 5
122,8	253	0,244 0
123,3	254	0,243 0
123,9	255	0,242 5
124,4	256	0,241 0
125,0	257	0,240 0
125,6	258	0,238 0
126,1	259	0,237 5
126,7	260	0,236 5
127,2	261	0,235 5
127,8	262	0,234 5
128,3	263	0,233 0
128,9	264	0,232 5
129,4	265	0,232 0
130,0	266	0,231 0
130,6	267	0,229 5
131,1	268	0,228 0
131,7	269	0,227 0
132,2	270	0,226 5
132,8	271	0,226 0
133,3	272	0,225 5
133,9	273	0,224 5
134,4	274	0,223 5
135,0	275	0,222 5
135,6	276	0,222 0
136,1	277	0,221 5
136,7	278	0,221 0
137,2	279	0,219 5
137,8	280	0,218 0
138,3	281	0,217 5
138,9	282	0,217 0
139,4	283	0,216 0
140,0	284	0,215 0
140,6	285	0,214 0
141,1	286	0,213 5
141,7	287	0,213 0

Температура		Вязкость
°C	°F	cP
142,2	288	0,212 5
142,8	289	0,212 0
143,3	290	0,211 0
143,9	291	0,210 0
144,4	292	0,209 0
145,0	293	0,208 0
145,6	294	0,207 5
146,1	295	0,207 0
146,7	296	0,206 5
147,2	297	0,206 0
147,8	298	0,205 0
148,3	299	0,204 5
148,9	300	0,204 0
149,4	301	0,203 0
150,0	302	0,202 5
150,6	303	0,202 0
151,1	304	0,201 0
151,7	305	0,200 0
152,2	306	0,199 0
152,8	307	0,198 0
153,3	308	0,197 5
153,9	309	0,197 0
154,4	310	0,196 5
155,0	311	0,196 0
155,6	312	0,195 5
156,1	313	0,195 0
156,7	314	0,194 5
157,2	315	0,194 0
157,8	316	0,193 5
158,3	317	0,193 0
158,9	318	0,192 5
159,4	319	0,192 0

Библиография

- [1] API RP 61, *Рекомендованная практика по оценке краткосрочной проводимости слоя расклинивающего наполнителя*, Первое издание, Октябрь 1, 1989
- [2] BIRD, G., BOON, J. AND STONE, T., *Silica Transport During Steam Injection in to Oil Sands*, Chemical Geology, **54** (1986), pp. 68-80
- [3] MCDANIEL, B.W., *Realistic Conductivity of Proppants as a Function of Reservoir Temperature*, SPE 16453, presented at the 1987 SPE/DOE Symposium on Low Permeability Reservoirs, Denver, CO, May 18-19
- [4] MCDANIEL, B.W., *Conductivity Testing of Proppants at High Temperature and Stress*, SPE 15067, presented at the 1986 Society of Petroleum Engineers California Regional Meeting, Oakland California, April
- [5] PENNY, G.S. and CONWAY, M.W., *Report of the Effects of Fracturing Fluids Upon the Conductivity of Proppants*, STIM-LAB Proppant Consortium Report (1987-1990)
- [6] PENNY, G.S., *An Evaluation of the Effects of Environmental Conditions and Fracturing Fluids Upon the Long-Term Conductivity of Proppants*, STIM-LAB Proppant Consortium Report (1987-1990)
- [7] UNDERDOWN, D.R. and DAS, K., *Stability of Gravel Packing Materials for Thermal Wells*, JPT, November 1985, pp. 2006-2012
- [8] *Water Analysis*, Hach Chemical Company (1979) 2-206
- [9] WIRTH, G.S. and GIESKES, J.M., *The Initial Kinetics of the Dissolution of Vitreous Silica in Aqueous Media*, Journal of Colloid and Interface Science, **68**, No. 3, March 1979
- [10] BROWN, W., and MUCH, M. G., *An Evaluation of Four Commonly Used Proppants*, Norton-Alcoa Proppants Publication, February 1986, Norton-Alcoa Proppants, 12221 Merit Dr., Suite 1040, Dallas, TX 75221
- [11] COBB, S. L., and FARRELL, J. J., *Evaluation of Long-term Proppant Stability*, SPE 14133, presented at Society of Petroleum Engineers International Meeting on Petroleum Engineering, Beijing, China, March 17-20, 1986, Society of Petroleum Engineers, Richardson, TX
- [12] ROODHART, L., KUIPER, T. O., and DAVIES, D. R., *Proppant Pack Impairment During Hydraulic Fracturing*, SPE 15629, presented at Society of Petroleum Engineers Annual Technical Conference, New Orleans, LA, October 5-8, 1986, Society of Petroleum Engineers, Richardson, TX
- [13] BECQ, D. F., ROQUE, C., and SARDA, J. P., *High Strength Proppants Behavior Under Extreme Conditions*, SPE 12487, Proceedings Sixth Society of Petroleum Engineers Formation Damage Symposium, Bakersfield, CA, (February 1984) 147-156, Society of Petroleum Engineers, Richardson, TX
- [14] MUCH, M. G., and PENNY, G. S., *Long Term Performance of Proppants Under Simulated Reservoir Conditions*, SPE/DOE 16415, presented at the SPE/DOE Low Permeability Reservoir Symposium, Denver, Colo., May 18-19, 1987, Society of Petroleum Engineers, Richardson, TX
- [15] PARKER, M. A., and MCDANIEL, B. W., *Fracturing Treatment Design Improved by Conductivity Measurements Under In Situ Conditions*, SPE 16901, presented at the Society of Petroleum Engineers Annual Technical Conference, Dallas, Tex., September 27-30, 1987, Society of Petroleum Engineers, Richardson, TX

- [16] ISO 13503-2, *Petroleum and natural gas industries — Completion fluids and materials — Part 2: Measurement of properties of proppants used in hydraulic fracturing and gravel-packing operations*
- [17] CRC Hand book of Chemistry and Physics (Справочник по химии и физике), 86th Edition, 2005

