

## Пресс-релиз Sensor Instruments

Январь 2021

### Обнаружение пленок масла на металлической поверхности: сравнение методов измерения.

**21.01.2021. Sensor Instruments GmbH:** При обработке металлов во время процесса формования обязательно применение масел. Например, нанесенные на металлические ленты штамповочные масла обеспечивают меньший износ инструмента. При операциях резки масла для сверления также незаменимы для защиты сверлильного и фрезерного инструмента. Кроме того, для полуфабрикатов, таких как листовой металл или металлическая фольга, масла служат в качестве защиты от коррозии. После обработки, однако, необходимо по возможности полностью удалить остатки масла с готовых изделий. Этому служат специальные чистящие установки, в которых происходит промывка и обдувка металлических деталей.



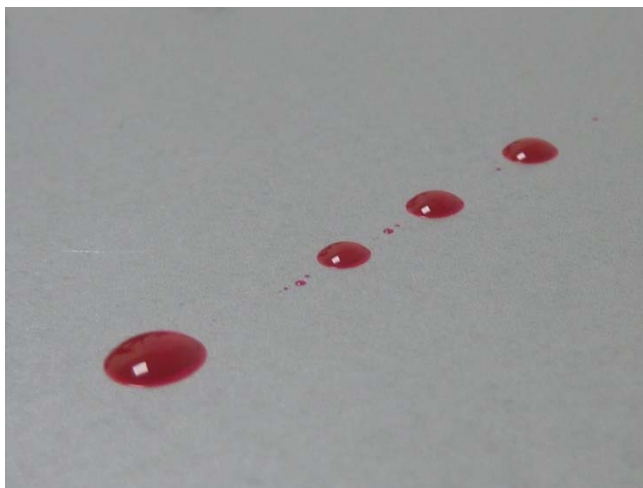
Для того, чтобы даже во время нанесения масла соблюдались директивы по защите окружающей среды и учитывались экономические аспекты, целесообразно определить количество наносимого масла. В настоящее время определение соответствующего количества масла может проводиться также ВСТРОЕННО. Предлагаются несколько методов измерения, которые подробно описаны в последующих разделах. Мониторинг процесса очистки может выполняться с помощью тех же самых датчиков. Задачей при этом является, надежно обнаружить даже незначительное количество остатков масла, предпочтительно с помощью ВСТРОЕННЫХ датчиков. Особенно токопроводящие элементы, например, медные шины или силовые линии, должны иметь минимальное переходное сопротивление, а пленка остатков масла будет создавать здесь проблему,

значительно сокращая энергоэффективность.

### Как обычно проводится контроль?

При упоминании о пленке масла в первую очередь приходит мысль о толщине пленки, измеренной, например, в мкм. Одной из возможностей измерения было бы определение массы единицы поверхности масляной пленки. Но для этого требуется определить полный вес детали. Для такого измерения нужны точные весы и идентичная деталь без покрытия маслом для определения разницы в весе. Переход от массы единицы поверхности к толщине пленки требует дополнительной информации о плотности соответствующего масла, а также о поверхности соответствующей детали. Большая разница в весе между собственно пленкой масла и деталью также не добавляет точности при определении толщины пленки. Кроме того, источником ошибки может стать разница в весе обеих деталей (небольшие отклонения в весе деталей) еще до нанесения масла.

Отсутствие простой альтернативы для непосредственного определения толщины пленки масла стало причиной того, что на практике все большую популярность набирает метод определения поверхностного натяжения контролируемых деталей. При наличии тонкой масляной пленки на металлической поверхности наблюдается уменьшение поверхностного натяжения в более чем 50 мН/м без покрытия до менее 40 мН/м с пленкой масла (в зависимости от толщины пленки и сорта масла). Для подтверждения соответствующего поверхностного натяжения служат так называемые тестовые чернила, покрывающие диапазон в 30 мН/м – 50 мН/м с интервалами в 2 мН/м (30 мН/м, 32 мН/м, 34 мН/м, ...). Тестовые чернила при этом наносятся штрихами на контролируемое место с помощью кисточки, поставляемой вместе с бутылочкой чернил. Если чернила собираются на поверхности в капли, то таким же образом наносятся следующие по значению чернила, до тех пор, пока чернила не останутся длительное время на поверхности и не перестанут стекать с нее. Значение поверхностного натяжения тогда будет находиться между значениями двух последних использованных тестовых чернил. Также можно наблюдать, что уменьшение поверхностного натяжения сопровождается увеличением толщины пленки масла.



Тестовые чернила собираются в капли на покрытой маслом металлической поверхности, что указывает на поверхностное натяжение ниже значения тестовых чернил.



На этом изображении тестовые чернила, нанесенные на покрытую маслом, но обезжиренную металлическую поверхность, удерживаются. Поверхностное натяжение металлической поверхности, таким образом, выше указанного на чернилах значения.

## Три различных метода измерения

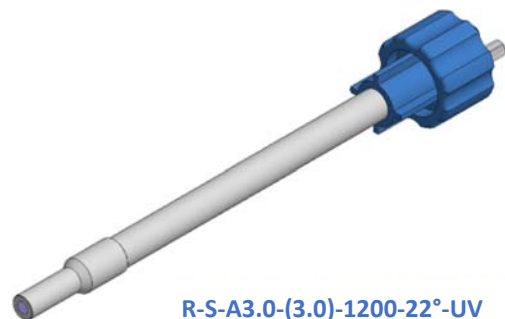
### Метод измерения 1:

#### Поглощение УФС-излучения (265нм центральная длина волны) пленкой масла

В качестве датчика при этом используется волоконно-оптический датчик (**SPECTRO-1-FIO-UVC/UVC**) в режиме отраженного света. Источником света служит УФ-СИД с центральной длиной волны 265нм. С помощью кварцевого волоконного световода (**R-S-A3.0-(3.0)-1200-22°-UV**) УФС-направляется на измеряемый участок металлической поверхности и отражается от нее частично диффузно и частично зеркально. Часть отраженных лучей с помощью волоконного жгута направляется на интегрированный в датчике детектор. В качестве контрольной базовой поверхности служит обезжиренная, не покрытая маслом металлическая поверхность (материал и структура поверхности должны быть такими же как у измеряемой поверхности). Если между торцом световода и металлической поверхностью находится пленка масла, то часть УФС-излучения поглощается ею как на пути к измеряемой поверхности, так и на пути обратно. Детектор регистрирует при этом ослабление сигнала. Если датчики используются для ВСТРОЕННОГО измерения, рекомендуется выдерживать рабочее расстояние от торца световода до металлической поверхности в прим. 5мм. Расходимость пучка составляет при этом 22°, а световое пятно на контролируемой металлической поверхности имеет диаметр прим. 5мм. При автономных измерениях используется насадка (**A3.0-OFL**), которая закрепляется на головке световода.



**SPECTRO-1-FIO-(UVC/UVC)**



**R-S-A3.0-(3.0)-1200-22°-UV**



**R-S-A3.0-(3.0)-1200-22°-UV + A3.0-OFL**

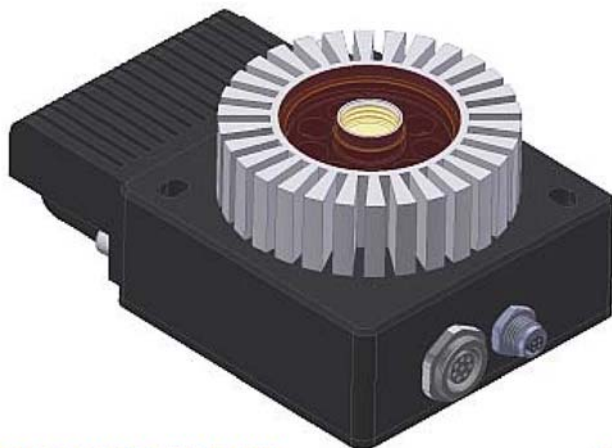


**A3.0-OFL**

**Метод измерения 2:**

**Возбуждение флуоресценции масляной пленки в видимом диапазоне длин волн при использовании УФА-излучения (365нм центральная длина волны)**

Для этого используется датчик цвета (**SPECTRO-3-30-UV/BL-MSM-ANA**), излучатель которого состоит из УФ-СИД (365нм центральная длина волны). При ВСТРОЕННЫХ измерениях рекомендуется рабочее расстояние в 15мм, с насадкой (**SPECTRO-3-15-d65-OFL**) можно работать и автономно (также и здесь расстояние от датчика до объекта составляет 15мм). Зона обнаружения при таком удалении имеет диаметр в прим. 12мм.



**SPECTRO-3-30-UV/BL-MSM-ANA**

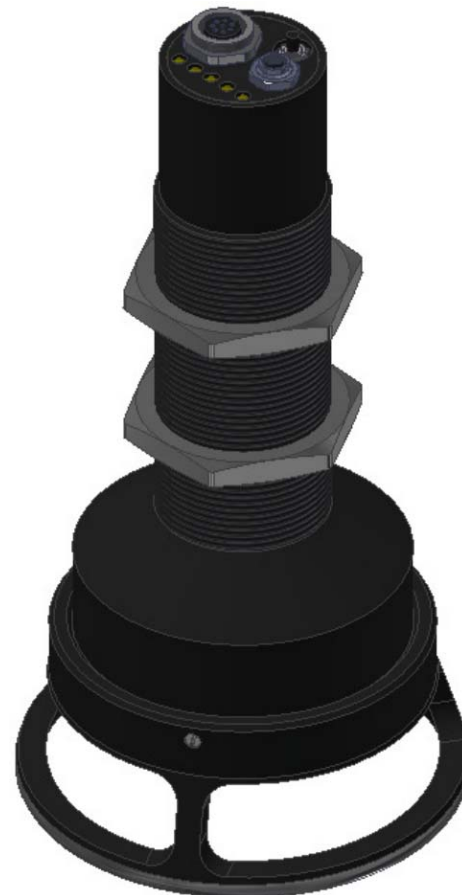
**SPECTRO-3-15-d65-OFL**

УФ-СИД размещены кольцеобразно, в центре сенсорного устройства находится приемник, который благодаря предвключенному оптическому фильтру может детектировать в видимом диапазоне, в то время, когда УФ излучение блокируется. Также и при этом методе измерения следует учитывать, что интенсивность измеренной флуоресценции зависит и от металлической поверхности, служащей в качестве рефлектора. Калибровка на соответствующую поверхность, то есть на соответствующую форму объекта, поэтому, обязательна.

### Метод измерения 3:

#### Поглощение пленкой масла MIR-излучения (3мкм центральная длина волны)

В качестве устройства освещения служит здесь широкополосный MIR-источник света, покрывающий диапазон длин волн от 2мкм до 6мкм. С помощью двух приемников, имеющих различные оптические фильтры, осуществляется нормированная обработка сигналов. Приемник 1 отвечает за обнаружение в узком диапазоне длин волн с центральной длиной волны в прим. 3мкм, в то время как приемник 2, также работающий в узком диапазоне, установлен на центральную длину волны в прим. 4мкм. При этом приемник 2 служит в качестве эталона, так как его диапазон длин волн по сравнению с диапазоном длин волн приемника 1 подвергается воздействию пленки масла совсем неощутимо. От металлической же поверхности в равной степени происходит отражение в обоих диапазонах длин волн. Нормированная обработка обоих сигналов измерения сообщает о поглощении пленки масла; результат при этом большей частью не зависит от имеющейся металлической поверхности. Расстояние при измерении от датчика (**SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)**) до металлической поверхности при ВСТРОЕННОМ измерении составляет 10мм, зона обнаружения составляет 10мм в диаметре. Отрицательного воздействия на измерение из-за внешнего освещения (белый СИД внутреннее освещение) обнаружено не было, вследствие этого можно работать с высокой измерительной частотой (> 1 кГц). Для автономного измерения предлагается насадка (**SPECTRO-M-30-OFL**), которая во время измерения также обеспечивает расстояние до металлической поверхности в 10мм.



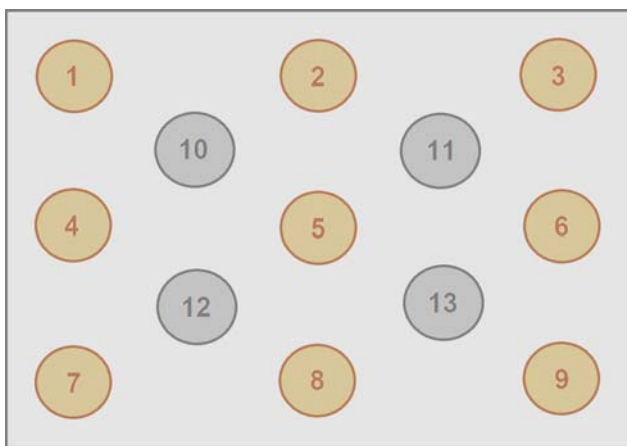
SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)



SPECTRO-M-30-OFL

## Система измерения

В качестве объекта измерения использовалась обезжиренная стальная пластина, на поверхность которой были нанесены слои одного и того же масла различной толщины (слои масла изменялись при этом в диапазоне <1мкм и прим. 20мкм). Тест проводился с различным количеством масла (в секторах 1,2,3: средний объем масла, в секторах 4,5,6: небольшой объем масла и в секторах 7,8,9: большое количество масла). В заключение пятно масла каждый раз с помощью одноразовой салфетки равномерно распределялось по поверхности диаметром в прим. 60мм. Этот процесс был выполнен во всех указанных секторах. Затем, уже распределенное по поверхности масло в секторах 2,3,5,6,8 и 9 было еще раз распределено с помощью одноразовой салфетки без изменения диаметра соответствующего сектора. Этот процесс был еще раз повторен в секторах 3,6 и 9.

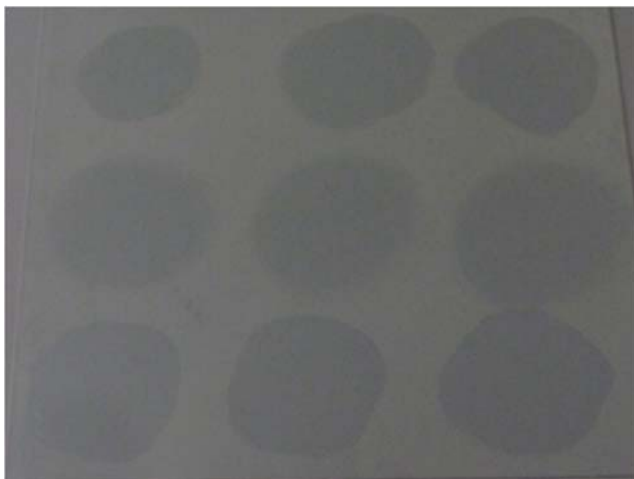


1,2 и 3: средняя толщина пленки (от 1 до 3 по убывающей)

4,5 и 6: незначительная толщина пленки (от 4 до 6 по убывающей)

7,8 и 9: большая толщина пленки (от 7 до 9 по убывающей)

10,11,12 и 13: сектора, служащие референтному измерению (сектора без нанесенного масла)



Стальная пластина с 9 различными секторами. После соответственного теста с определенным сортом масла металлическая пластина была почти полностью очищена от масла (обезжирена). Чтобы проверить, удалено ли с металлической пластины масло от предыдущих тестов, измерения проводятся также между отдельными участками с нанесенным маслом (секторами 1-9). Эти области обозначены как сектора 10-13.

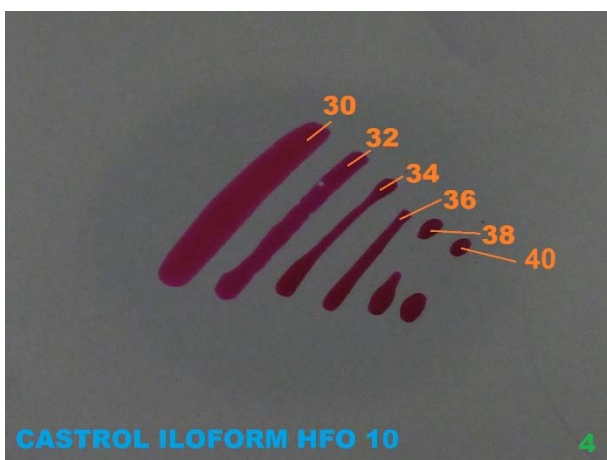
Как уже упоминалось выше, соответствующие измерения опираются на контроль поверхностного натяжения в соответственных секторах. Поверхностное натяжение было определено с помощью имеющихся тестовых чернил (30мН/м – 50мН/м) после измерения с 3 различными датчиками для каждого сорта масла. (Тестовые чернила были нанесены на соответствующие сектора, при этом на результат измерений будет влиять собственная флуоресценция чернил, дополнительное поглощение и отражение.)



Образец масла: CASTROL Iloform HFO 10

Тестовые чернила: 30мН/м, 32мН/м, 34мН/м и 36мН/м

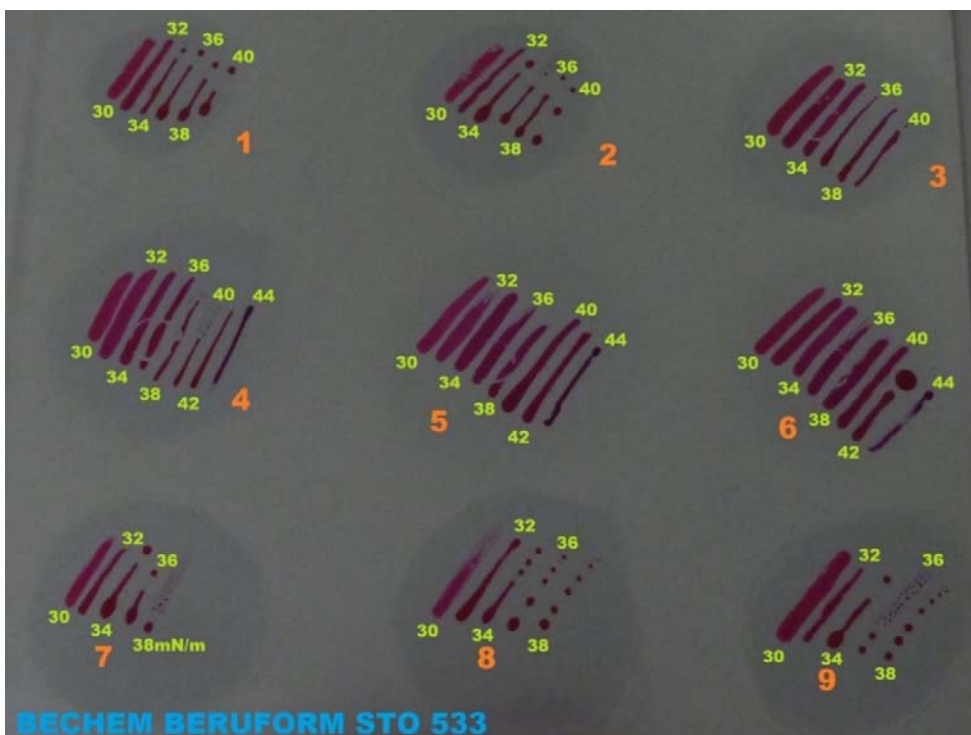
Сектор: 1



Образец масла: CASTROL Iloform HFO 10

Тестовые чернила: 30мН/м, 32мН/м, 34мН/м, 36мН/м, 38мН/м и 40мН/м

Сектор: 4



Образец масла: BECHEM BERUFORM STO 533

использованные чернила: 30мН/м – 44мН/м в 9 различных секторах

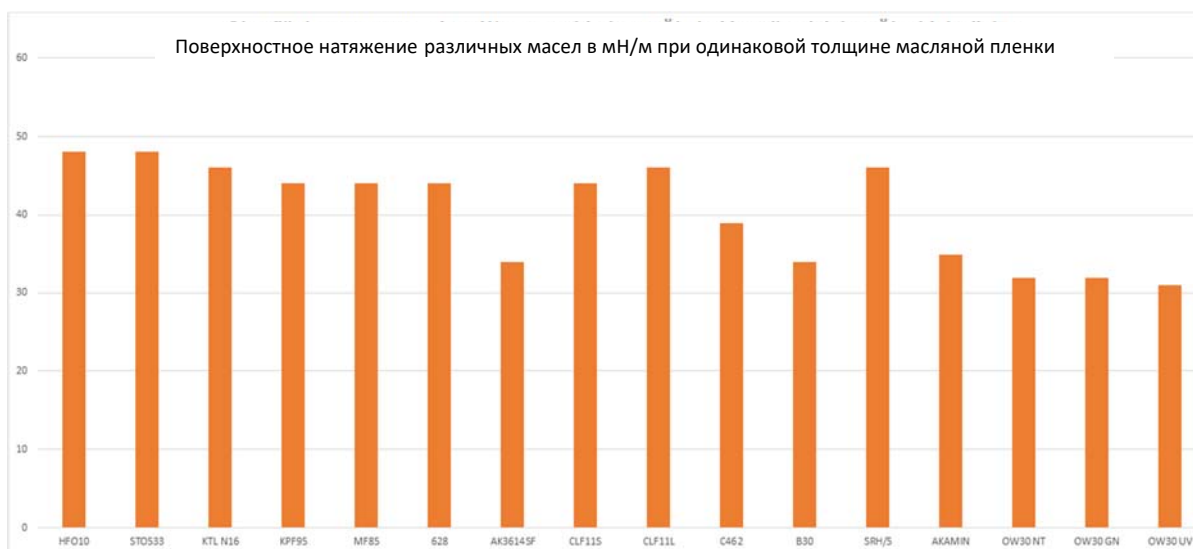
## Образцы масел

Был проведен тест следующих масел:

- CASTROL HFO10
- BECHEM STO533
- Z+G KTL N16
- BECHEM KFP95
- BECHEM MF85
- WILKE 628
- WISURA AK3614SF
- RAZIOL CLF11S
- RAZIOL CLF11L
- TRUMPF C462
- TRUMPF B30
- TRUMPF SRH/5
- TRUMPF AKAMIN
- OW 30 NEUTRAL
- OW 30 0.01% GRÜN
- OW 30 0.01% UV-FARBE

## Сравнение поверхностного натяжения различных масел при примерно одинаковой толщине масляной пленки

При проверке различных масел было выявлено, что поверхностное натяжение при примерно одинаковой толщине пленки масла принимает различные значения в зависимости от сорта масла:



Сравнению при этом подверглись значения поверхностного натяжения в секторе б, т.е. с незначительным количеством нанесенного масла (толщина пленки прим. <1мкм). Делать выводы о поверхностном натяжении только на основании толщины пленки масла без знания сорта масла невозможно.



## Результаты измерений

### Метод измерения 1:

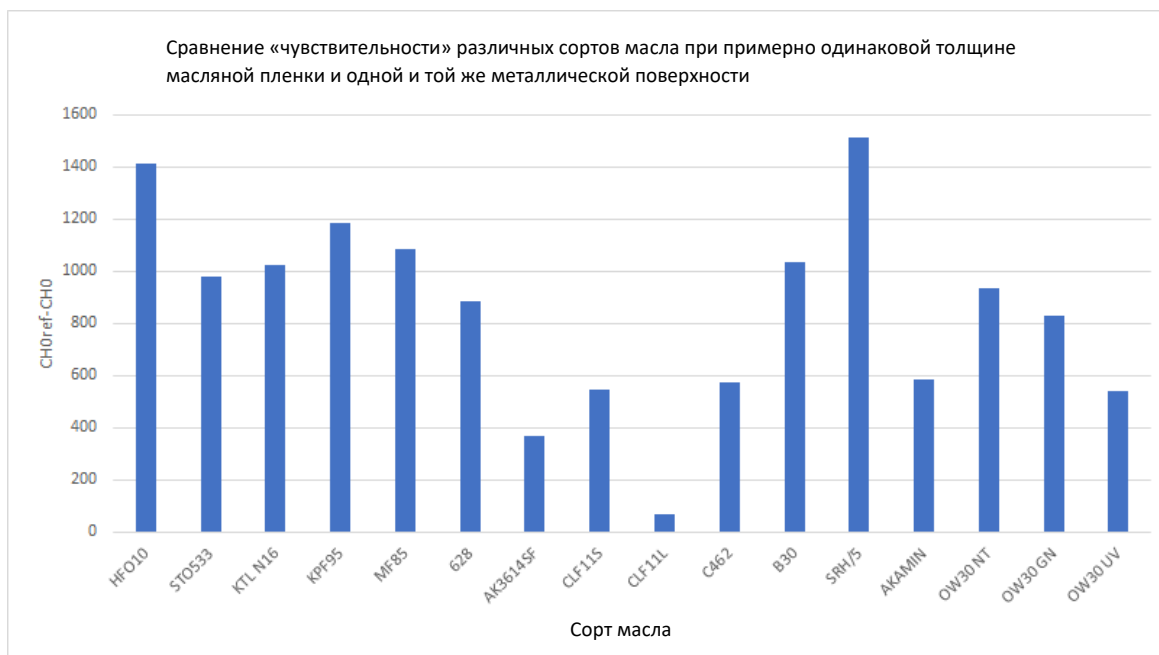
#### Поглощение УФС-излучения (265нм центральная длина волны) пленкой масла

Измерения проводились с использованием волоконно-оптического датчика **SPECTRO-1-FIO-(UVC/UVC)** вкл. световод отраженного света **R-S-A3.0-(3.0)-1200-22°-UV**, а также насадку для автономной работы **A3.0-OFL** сначала по сортам масла в секторах 10 - 13 (определение измеряемых значений, а также поверхностного натяжения обезжиренной металлической поверхности, оно служит при этом в качестве референтного значения) и затем в секторах 1 - 9. Головка световода вкл. насадку для автономных измерений устанавливалась в середине соответствующего сектора.



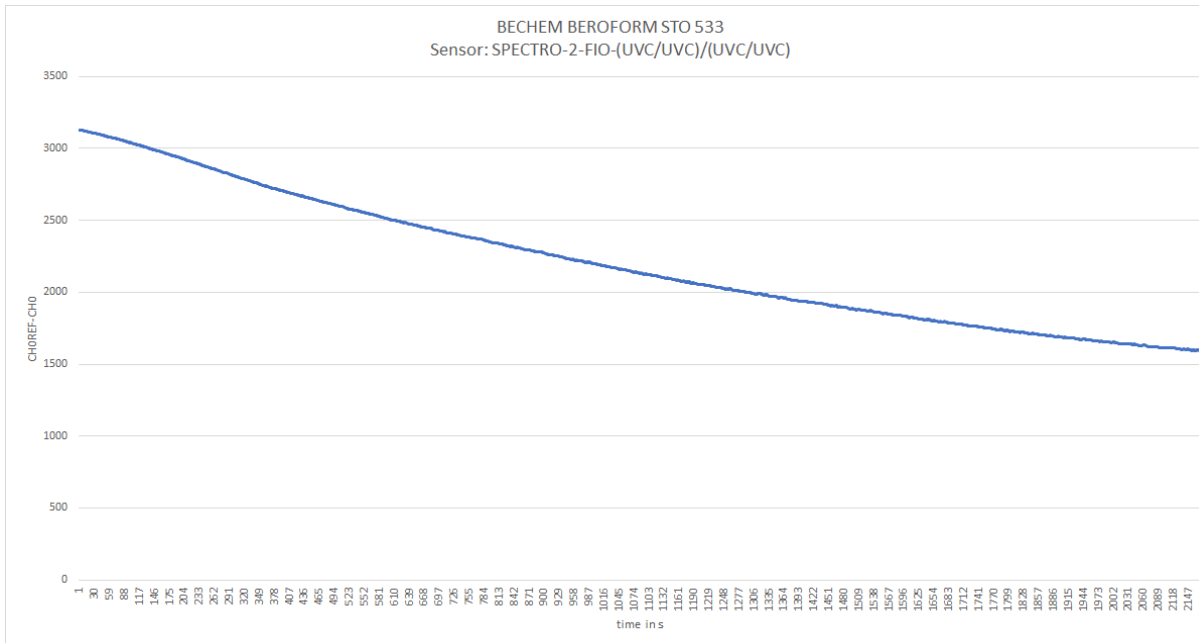
#### Сравнение чувствительности различных масел при одинаковой толщине масляной пленки

Исследования указанных сортов масла с использованием метода измерения 1 приводят к сильно отличающимся друг от друга результатам измерения, что представлено на следующей диаграмме:



Измерялось ослабление сигнала отраженного от металлической поверхности и обнаруженного световодом УФС-излучения  $CH0_{ref}$  за вычетом отраженного от металлической поверхности и уменьшенного как на пути в одну, так и на пути в обратную сторону (из-за поглощения) УФС-излучения  $CH0$ . Отношение разницы  $CH0_{ref}-CH0$  образца масла с самым сильным поглощением к образцу масла, который ведет себя почти нейтрально, составляет примерно 22.

**Исследование УФС-поглощения пленки масла в зависимости от времени**

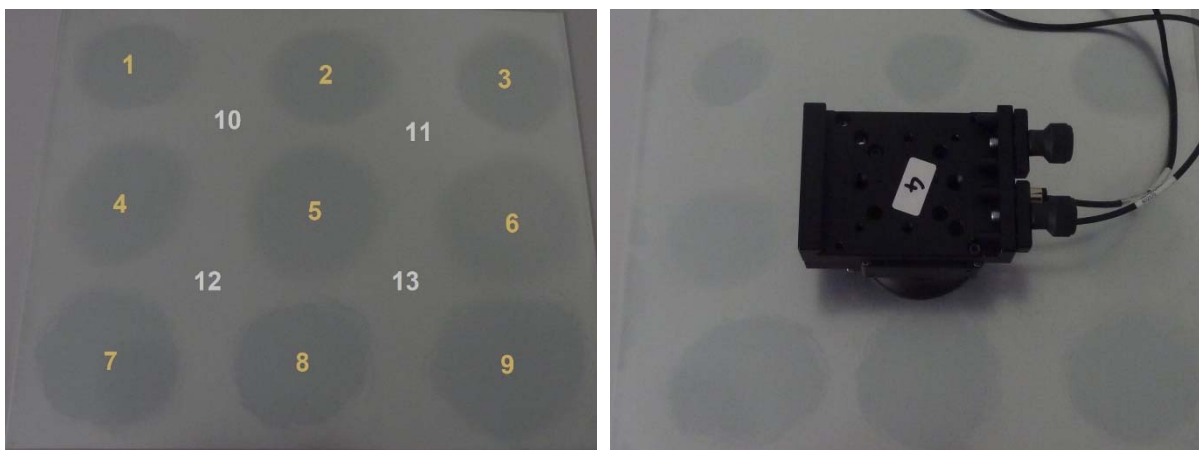


При этом методе измерения насадка световода А3.0-OFL на длительное время устанавливалась в определенном месте пленки масла и в продолжение этого времени осуществлялась запись изменения сигнала CH0.

При этом наблюдалось значительное уменьшение поглощения (дельта = 1600) УФС-излучения за промежуток времени в 36 минут (CH0ref = 3975), что отвечает относительному уменьшению эффекта поглощения в 2 раза. При определении измеряемого значения, таким образом, решающим является время после установки измерительной головки на соответственный образец масла.

**Метод измерения 2:**

**Вторичная эмиссия в видимом диапазоне длин волн (флуоресценция) при возбуждении в УФА-диапазоне (365нм)**



В качестве датчика здесь использовался **SPECTRO-3-30-UV/BL-MSM-ANA** с УФА-кольцевым светом (365нм) и зоной обнаружения приемника в тип. 450нм – 700нм. Чтобы здесь можно было также проводить измерение с опорой, ВСТРОЕННАЯ система была снабжена спереди насадкой **SPECTRO-3-15-d65-OFL**. Сначала в референтных точках было определено среднее референтное значение (10-13), а затем в точках 1-9 поочередно измерены образцы масел.

### Сравнение чувствительности различных масел при одинаковой толщине масляной пленки



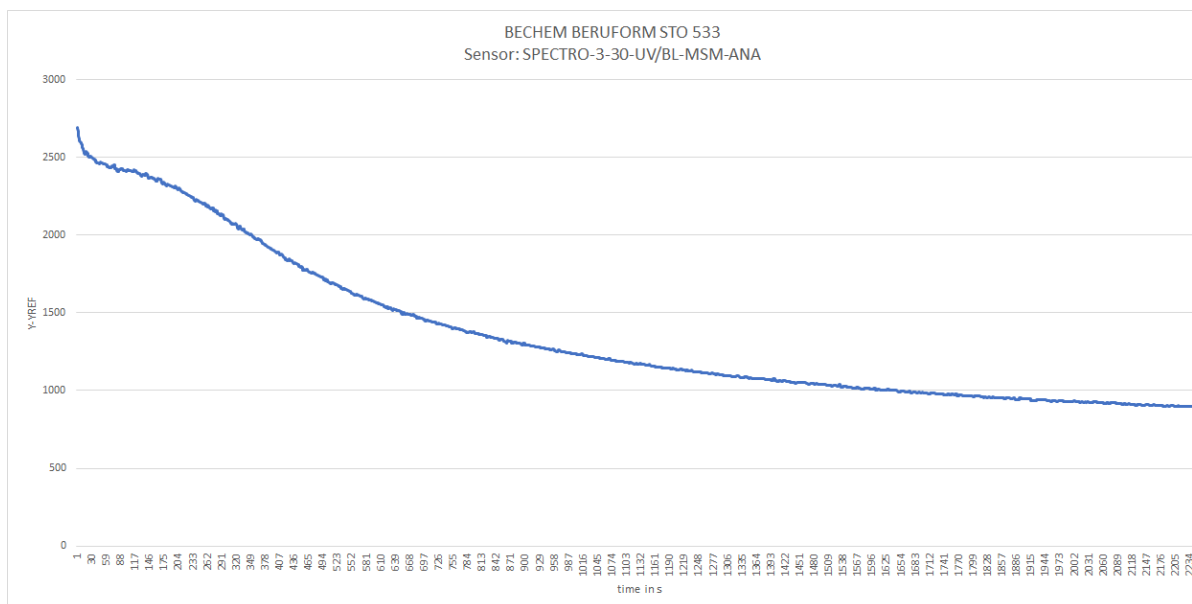
Также и при этом методе измерения наблюдались большие отличия значения  $Y-Y_{ref}$  при одинаковой толщине пленки масла отдельных сортов. Если не учитывать масла несклонные к флуоресценции, то самый чувствительный образец (Z+G KTL N16) отличается от самого нечувствительного (TRUMPF B30) в прим. 61 раз.

У следующих сортов масла флуоресценции при возбуждении в УФА-диапазоне обнаружено не было:

- WILKE 628
- WISURA AK 3614SF
- RAZIOL CLF 11S
- RAZIOL CLF 11L
- TRUMPF AKAMIN

## Исследование флуоресценции в видимом диапазоне длин волн при УФА-возбуждении пленки масла в зависимости от времени

Датчик при этом продолжительное время (несколько минут) был установлен в определенном месте измерения и на протяжении всего этого времени регистрировал силу сигнала  $Y$ .

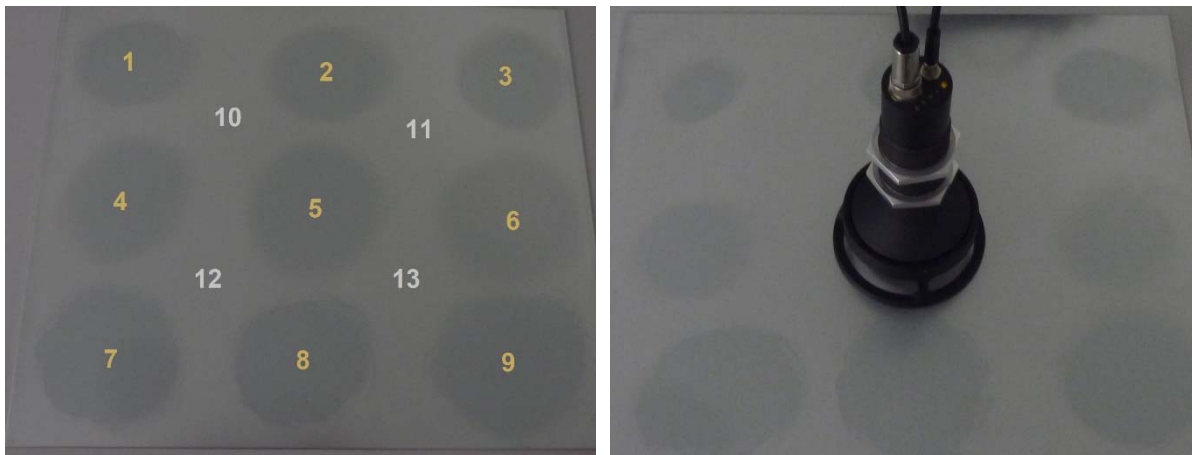


В течение прим. 38 минут у сорта масла BECHEM BERUFORM STO533 было обнаружено ослабление сигнала флуоресценции  $Y$ - $Y_{ref}$  в 3 раза. Также и при этом методе измерения для определения поверхностного натяжения в соответствующем месте измерения решающим является, когда конкретно было зарегистрировано замеренное значение после установки датчика. При ВСТРОЕННОМ применении датчика это не будет столь важно, так как в этом случае каждый образец масла подвергается относительно интенсивному УФА-излучению только на короткое время и определение измеряемого значения осуществляется в то же самое время после позиционирования. Одновременный процесс осуществляется при этом между программируемым контроллером (ПЛК) и соответствующими актуаторами.

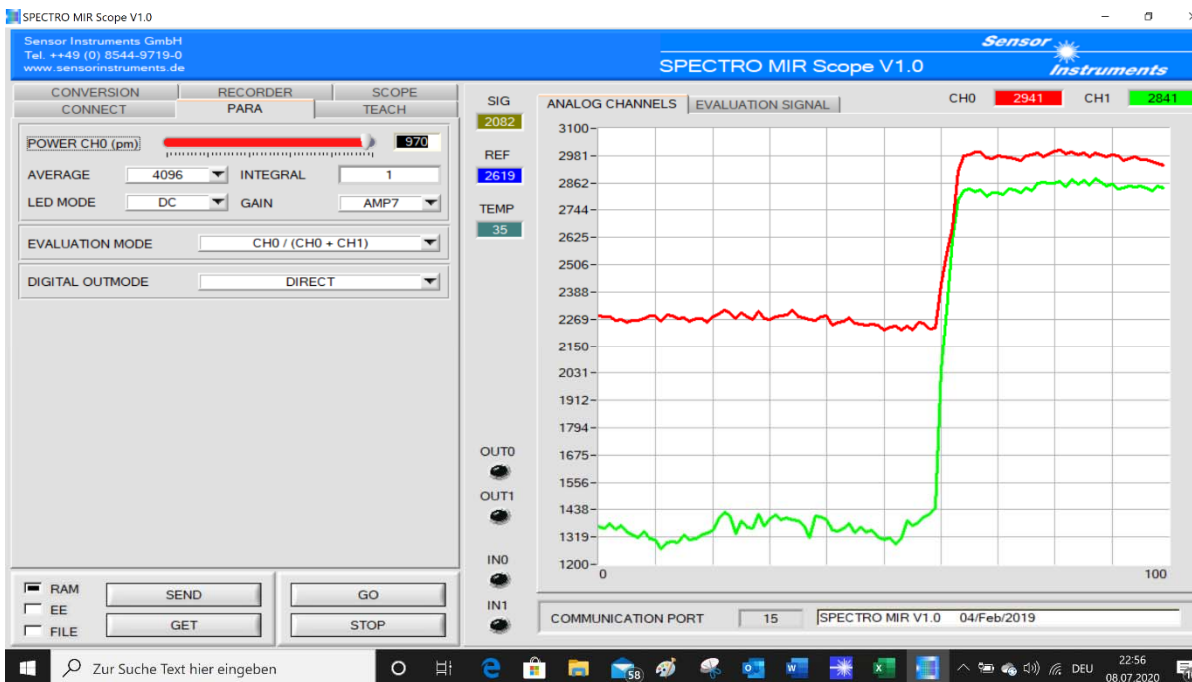
### Метод измерения 3:

#### **Нормированное сравнение двух диапазонов длин волн в среднем инфракрасном диапазоне (MIR)**

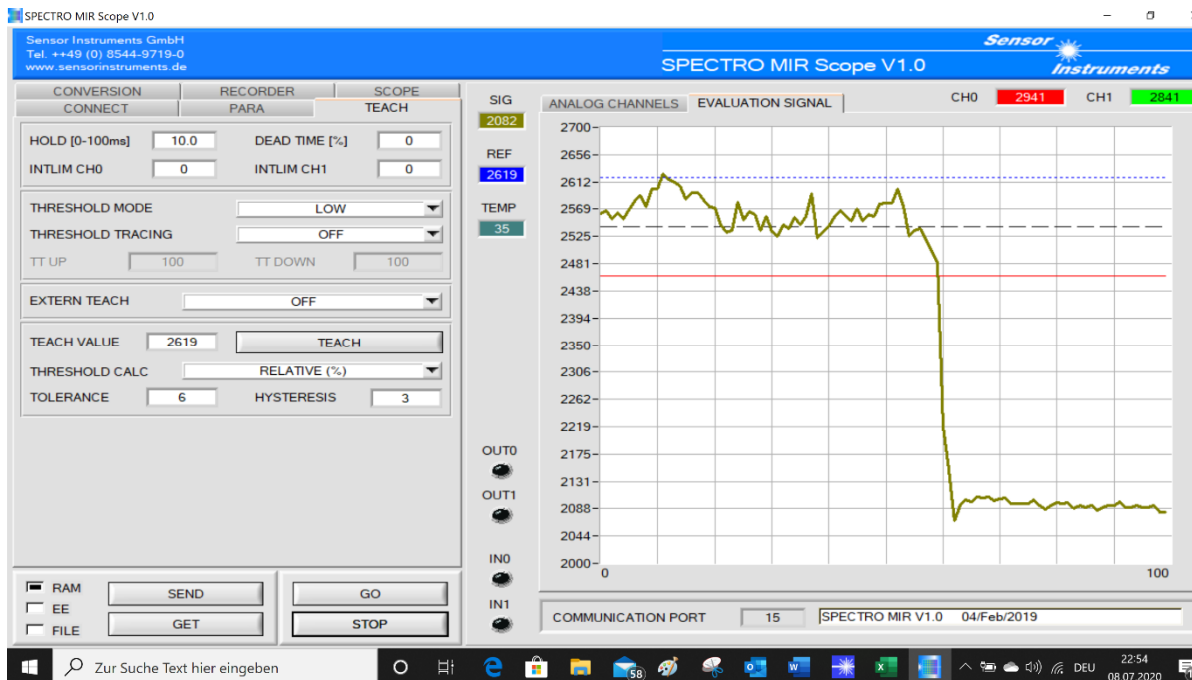
В качестве датчика использован **SPECTRO-M-10-MIR/(MIR1+MIR2)**, рассмотрены позиции измерения 1-9, в то время как позиции 10-13 служили в качестве референтных. С помощью насадки **SPECTRO-M-30-OFL** ВСТРОЕННАЯ система измерений была быстро преобразована в ручной измерительный прибор. Расстояние до измеряемой поверхности составляло при этом 10мм. Нормированное замеренное значение получается из обоих установленных измеренных значений обоих окон измерения в MIR-диапазоне с центральной длиной волны в 3мкм – 4мкм, где последнее служит в качестве референтного окна, так как предшествующие спектрометрические исследования показали, что в данном диапазоне длин волн заметное поглощение MIR-излучения отсутствует.



Во время измерения было осуществлено соединение с ПК с помощью последовательного интерфейса. Параметрирование датчиков, а также цифровое и графическое отображение данных измерения произведено при этом с помощью Windows® - ПО SPECTRO MIR Scope V1.0.



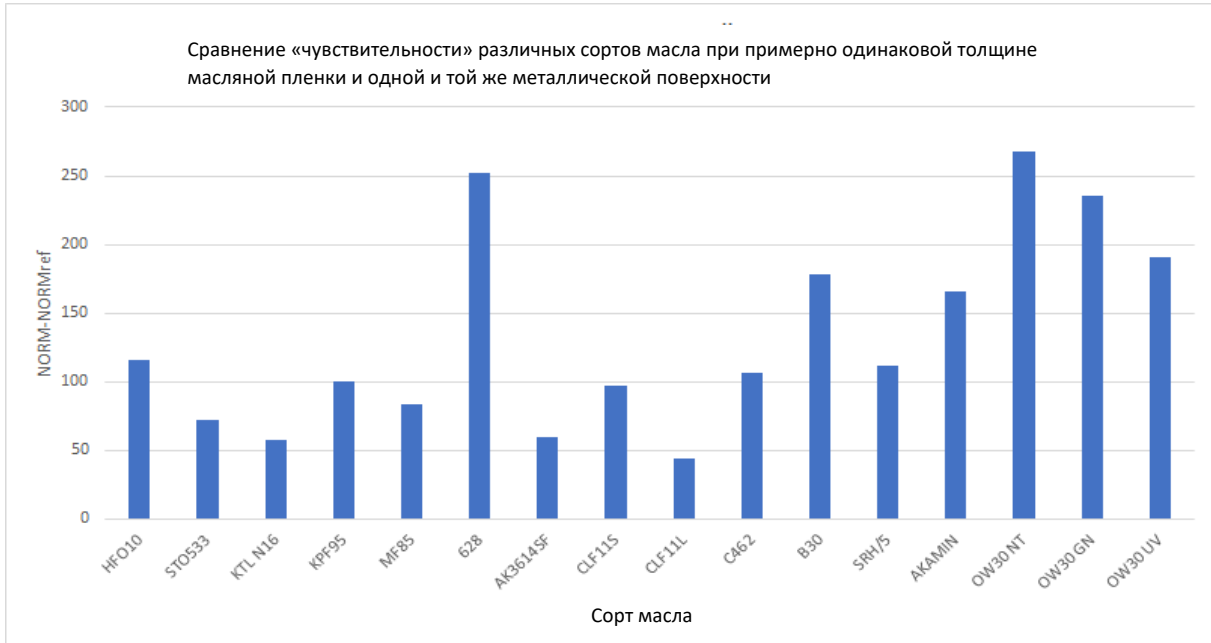
Наряду с индикацией обоих замеренных значений CH0 (референтное значение при 4мкм) и CH1 (замеренное значение при 3мкм) отображается также нормированное  $SIG = 4095 \times CH0 / (CH0 + CH1)$  значение.



Во время ВСТРОЕННОГО измерения можно обратиться также к программе **MIR MONITORING**. Оператору установки во время производства с помощью столбчатой диаграммы на мониторе будет показана актуальная ситуация и тенденция, касающиеся качества. Также имеется возможность записать и сохранить данные измерений в подходящем формате, чтобы они могли затем использоваться с Word® или Excel®.

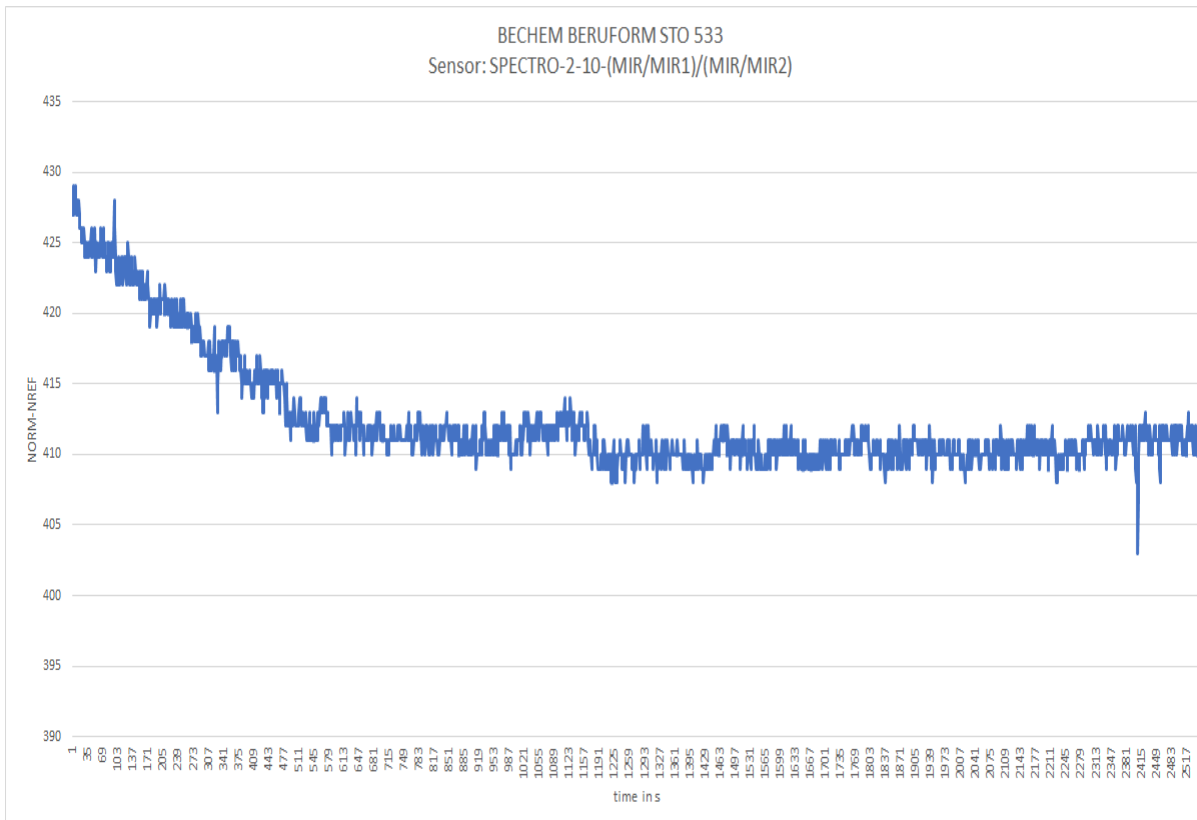
### **Сравнение чувствительности различных масел при одинаковой толщине масляной пленки**

При этом методе измерения также были установлены различия в чувствительности у разных сортов масел (при сравнительно одинаковой толщине пленки). В сравнении с обоими другими методами измерения здесь были детектированы все сорта масел, а самая чувствительная и самая нечувствительная пробы отличались в 7 раз.



**Исследование нормированного поглощения пленкой масла MIR-лучей в диапазонах длин волн около 3мкм и 4мкм в зависимости от времени**

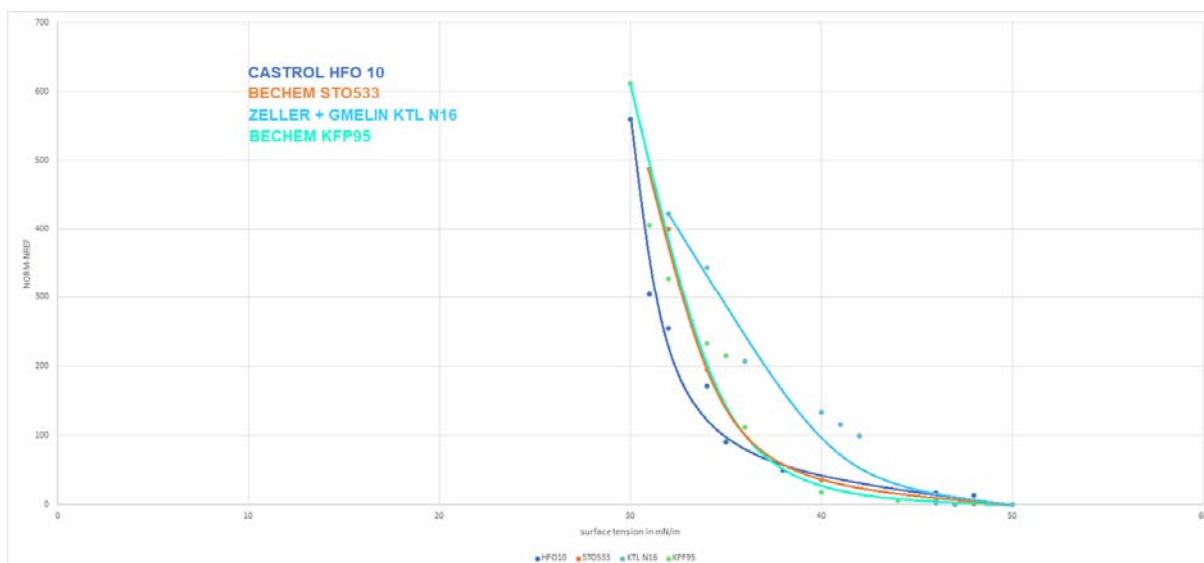
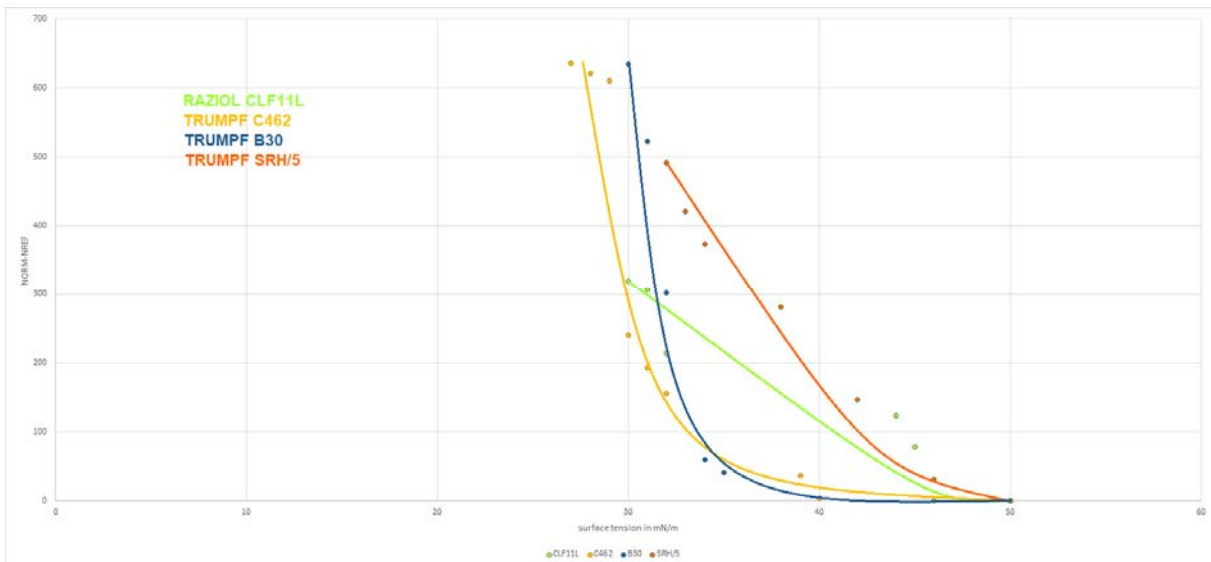
При этом датчик был установлен на место измерения, покрытое пленкой определенного сорта масла, затем в течение продолжительного времени (прим. 43 мин) проводилась регистрация данных измерения



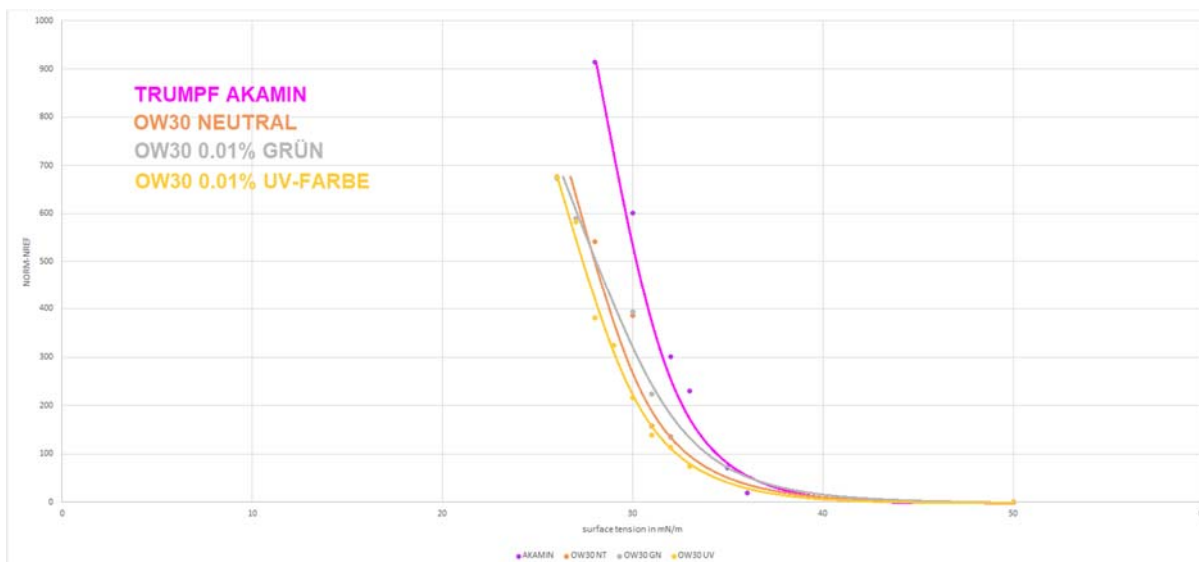
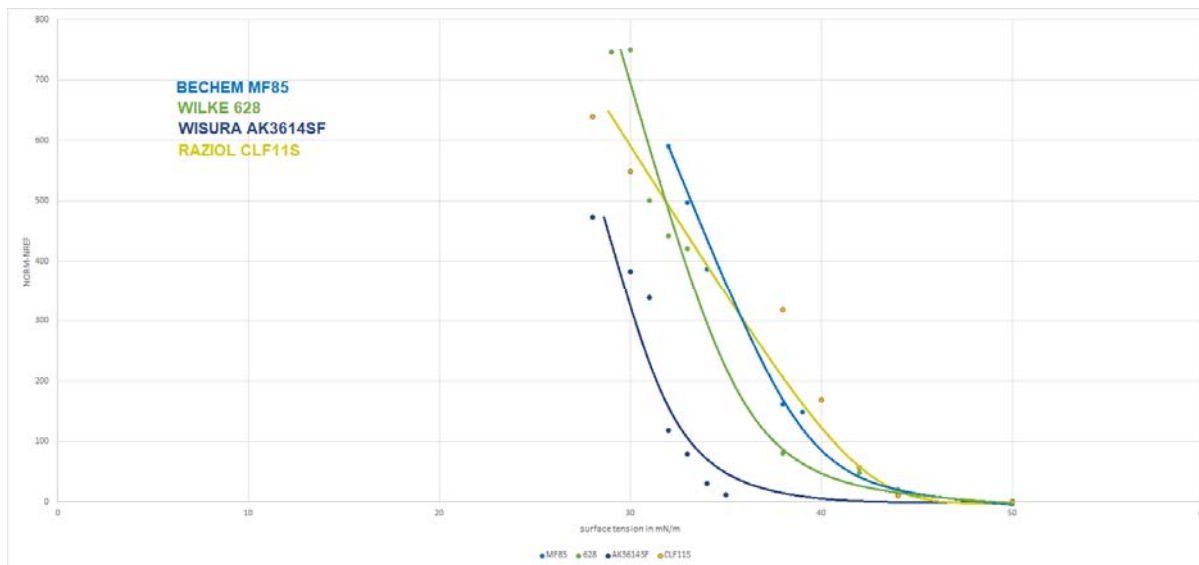
При этом установлено уменьшение нормированного диапазона только в 5% (что отвечает фактору в прим. 1,05). В сравнении с обоими предшествующими методами измерения ослабление сигнала здесь значительно меньше, что зависит не только от нормированной обработки, но и от того, что MIR-излучение со временем имеет по всей видимости значительно меньшее влияние на изменение поглощения пленкой масла.

**Исследование нормированного поглощения в MIR – диапазоне в зависимости от поверхностного натяжения соответствующего сорта масла**

Измерения проводились при этом в позициях 1-9 (NORM), из 4 референтных позиций было определено среднее референтное значение (*NORMref*). Разница обоих значений (*NORM-NORMref*) служит при этом в качестве меры для поверхностного натяжения. Значение поверхностного натяжения было определено с помощью метода тестовых чернил.







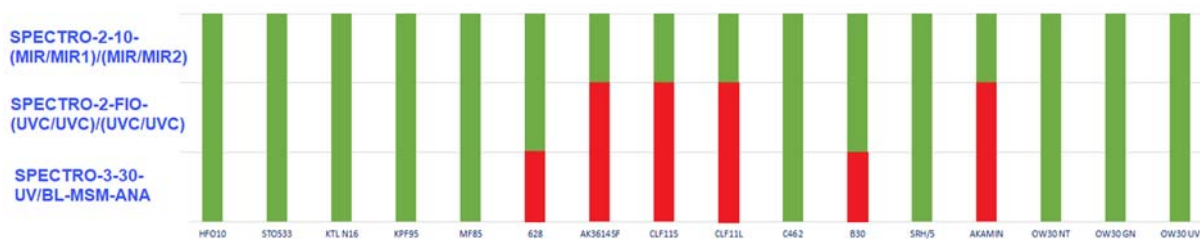
Кривые измерения показывают, что и при этом методе измерения должна осуществляться калибровка на соответствующее использованное масло в соединении с соответственной металлической поверхностью. Калибровка при этом может проводиться пользователем с помощью Windows®-ПО **SPECTRO MIR Scope V1.0**. Дополнительно к соответственному NORM-значению указывается также значение поверхностного натяжения.

## Заключение

Наличие пленки масла на металлической поверхности на практике проверялась до сих пор с помощью тестовых чернил. Речь здесь идет о контактном методе, так как тестовые чернила должны наноситься на соответствующую поверхность. Кроме того, данный метод определения поверхностного натяжения зависит также от точки зрения наблюдателя (образование капель да/нет и за какое время?) и факта, что градация

тестовых чернил по отношению к поверхностному натяжению (с интервалами в 2мН/м) довольно приблизительно, и точному анализу явно не способствует. Также для этого метода требуется проверяемая поверхность определенного размера (ширина мазка кистью x прим. 15мм в длину). Уже описанные методы измерения 1 и 2 позволяют проводить измерение на очень маленькой поверхности, недостатком их является то, что не все масла реагируют на соответственный физический эффект, то есть остаются практически нейтральными. При методе измерения 3 требуется немного большая проверяемая поверхность, которая при этом должна быть плоской. С учетом всех других критериев данный метод по сравнению с методами 1 и 2 все же лучше. Существенным преимуществом метода измерения 3 является нормированная обработка. Она хотя и не может заменить индивидуальную калибровку по сорту масла и металлической поверхности, тем не менее изменения металлической поверхности, а также возможные дрейфы интенсивности используемого источника света могут главным образом компенсироваться. При использовании искусственного света (белые СИД) для освещения помещения (внешнее освещение) воздействия на результаты измерения не наблюдалось.

Какие масла подходят для соответствующего метода измерения? (зеленый: подходит, красный: не подходит)



Сравнение других важных характеристик методов измерения:

Методы измерения	УФС	УФА	MIR
Коэффициент, учитывающий различие чувствительности у разных сортов масел	22	61	7
Коэффициент затухания сигнала при длительном облучении	2	3	1.05
Чувствительность к внешнему свету при искусственном освещении (белые СИД)	средняя	сильная	небольшая
Интервал измерения в мм	5	15 (11)*	10
Зона обнаружения в мм	5	12 (1)*	10

\* для УФА-метода измерения существует также версия световода, с помощью которой можно достичь соответственно малых зон обнаружения.

**Контакт:**

Sensor Instruments  
Entwicklungs- und Vertriebs GmbH  
Schlinding 11  
D-94169 Thurmansbang  
Телефон +49 8544 9719-0  
Факс +49 8544 9719-13  
[info@sensorinstruments.de](mailto:info@sensorinstruments.de)