

# ГРАФИТ – он и в Африке графит?

О.Ю. Исаев, ООО «Силур», г. Пермь

## От редакции.

ООО «Силур» – один из крупнейших российских производителей уплотнений из ТРГ. В последние годы он испытывает серьезнейшее давление со стороны китайских производителей графитовых набивок, заполонивших российский рынок своим дешевым товаром. Казалось бы, что тут такого? Это ведь хорошо, когда есть конкуренция! Беда в том, однако, что конкуренция эта, мягко говоря, не вполне добросовестная. У дешевых китайских уплотнений, как и большинства других дешевых китайских товаров, имеются существенные скрытые недостатки. Но чтобы их выявить и осознать – требуется понимать, что собой представляет и как работает набивка из ТРГ. Именно об этом – статья Генерального директора ООО «Силур» Олега Юрьевича Исаева.

Хочется добавить еще пару слов – так сказать, «о наболевшем». У вас ведь тоже наверняка электронная почта завалена спамом китайских «гаражных кооперативов»? В принципе, и слова в этих письмах вроде все русские, и даже понятно, что за арматуру они предлагают. Но сравните русский язык китайского «производства» – и тот, которым написана данная статья...



Рис. 1. Парение углеводородов в невидимом спектре

Плетёные сальниковые набивки из терморасширенного графита (ТРГ), ещё десятилетие тому назад одними воспринимавшиеся как уплотнения на грани фантастики, другими – поклонниками «старого, доброго асбеста» – не принимавшиеся ни под каким предлогом, стали настолько доступны и обыденны, что закупаются на тендерах по ценам на уровне асбеста. Еще дешевле набивку ТРГ можно купить напрямую в Китае, где она предлагается по \$ 5-6 за килограмм, а если поискать и поторговаться, можно найти и дешевле. Отечественные производители данного типа набивок практически махнули рукой на этот рынок по причине более высокой себестоимости производства и, казалось бы, полного удовлетворения потребителя качеством китайского товара.

Наиболее широко набивки ТРГ китайского производства закупаются в нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслях для уплотнения сальников арматуры, эксплуатируемой при давлениях 1,6-4,0 МПа и температурах до 400-500 °С. И практически все механики довольны этой набивкой, поскольку задвижки с графитовым сальником стоят сухие – не текут и не парят. По крайней мере, в видимом спектре. И вот здесь, как оказалось «зарыта собака».

Российская фирма «КРОСС Технологии» ([www.krosstech.ru](http://www.krosstech.ru)) совместно со специалистами литовской фирмы UAB «Techniniai projektai» на базе «Программы поиска и обнаружения утечек LDAR» провели обследование установки АВТ одного из крупнейших российских НПЗ с помощью специального оптического прибора. Применяемое оборудование и технологии позволяют не только визуально обнаружить пропуски углеводородов в невидимом спектре (пропуск углеводородов в приборе наблюдается в виде черно-белого дыма – см. рис. 1), но и с большой точностью определить объем потерь легколетучих углеводородов (C1-C6) в каждом конкретном случае. Обследование показало, что 70 % из всех обнаруженных пропусков на установке приходятся на парения в области штока арматуры. Такие пропуски опасны не только с точки зрения экологии и вредного воздействия на окружающую среду, но и при определенных концентрациях могут стать причиной возникновения аварийных ситуаций и пожаров. Выявление причин возникновения пропусков показали, что вся арматура данной установки оснащена сальниками из набивки ТРГ, приобретенной по самым низким ценам на тендерной основе.

Но если в нефтепереработке давление редко превышает 4,0 МПа, то в тепловой энергетике давление 10 – 25 МПа – норма, и обстанов-



Фото с сайта: img11.nnm.ru

ка с герметизацией штоков арматуры гораздо более напряжённая. В последние годы участились случаи аварийного разрушения сальников запорной и регулирующей арматуры на ТЭЦ, при этом основной причиной разгерметизации некоторые специалисты от коммерции считают низкую квалификацию ремонтного персонала. Но ведь ещё 5 – 10 лет назад этого не было, а всё потому, что, на наш взгляд, набивка приобреталась только у проверенных поставщиков. Кстати, на ГРЭС, где давления достигают 40 МПа, таких проблем нет, поскольку на самые ответственные и нагруженные места устанавливаются прессованные кольца ТРГ отечественного производства, изготовленные без применения связующего, а набивка, тоже отечественного производства, применяется до 10 МПа.

Таким образом, при переходе на новую систему контроля герметичности разъемных соединений в нефтепереработке, неся систематические убытки от аварийных остановов в энергетике, механике и теплотехнике могут вообще отказаться от набивок ТРГ, либо закупать их только у западных производителей по заоблачным ценам.

Чтобы не допустить такого развития событий, давайте разложим проблему на составляющие и покажем, что графит графиту рознь.

#### *Что же такое плетёная набивка из терморасширенного графита?*

#### *Из чего она состоит и как делается?*

Набивка ТРГ изготавливается путем плетения на диагональных плетельных машинах графитовых жгутов (кручёных нитей), полученных сворачиванием и скручиванием армированных графитовых лент. Графитовые ленты, в свою очередь, нарезаются из рулонов более широкой армированной графитовой фольги. Графитовую фольгу получают путем прокатки двух слоёв графитового пуха ТРГ с межслойным проклеиванием и введением между слоями армирующих нитей, волокон, тончайшей проволоки. Клей и армировка необходимы, чтобы уберечь графит от растрескивания и осыпания (он хоть и гибкий, но не резиновый) и придания необходимой прочности на разрыв при кручении жгутов, плетении, транспортировке и установке набивки.

Обращаем внимание на некоторые особенности конструкции набивок.

1. При повышенных температурах только проволока работает как силовой элемент набивки. Хлопчатобумажная нить сгорает или деструктурирует при температурах 180 – 220 °С, образуя протяжённые каналы в объёме набивки. Стеклонить, хоть и имеет термостойкость до 1000 °С, но замасливатель (аппрет), удерживающий отдельные стеклянные филаменты друг с другом, выгорает при температуре 200 °С, и стеклонить теряет прочность. Поэтому большое количество неметаллической армировки ухудшает эксплуатационные свойства набивки.
2. Хорошо проклеенная набивка ТРГ не осыпается, она эластична, прекрасно держит форму и имеет очень привлекательный внешний вид, но при выгорании клея при температурах свыше 150 °С становится пористой. Соответственно, чем больше в набивке было клея, тем больше будет её пористость.
3. На качество набивки влияет не только содержание клея в набивке, но и его состояние. Правильнее использовать полимеризующийся клей, образующий после высыхания тонкую, эластичную плёнку. Использование невысыхающих клеев, по типу тех, что применяются при изготовлении скотчей, ухудшает свойства графитовых уплотнений, поскольку при одной и той же массе они занимают больший объём, кроме того, под давлением такие клеи «плывут». Преимущества и недостатки разных типов клеев уважаемый читатель может оценить, представив, в каком случае он поднимет большой груз, – имея под ногами твёрдую опору или стоя на скользкой (вроде бы и липкой) глине.
4. При изготовлении плетёных сальниковых набивок возникает соблазн использовать более дешёвый мелкий ТРГ, поскольку он так же склеится с армировкой и друг с другом и будет выглядеть как единое целое. Однако, в процессе производства графитовые ленты скручиваются, перематываются, перегибаются, т.е. подвергаются существенным механическим воздействиям. Всё это приводит к крайней степени травмирования графита, появлению трещин и изломов. При выгорании клея мелкий, низкопрочный, ничем не связанный меж собой растрескавшийся графит выдавливается в зазоры, а качественно расширенный ТРГ, обладая сильными внутренними связями и развитой поверхностью, даже в отсутствие связующего сохраняет прочность, упругость и работает как единое целое.
5. Качественный терморасширенный графит, используемый для производства набивок, получают из природного явнокристаллического крупночешуйчатого графита при температуре 1300 °С. Полученный графитовый пух имеет степень расширения не менее 500 см<sup>3</sup>/г и насыпную плотность не более 2 г/дм<sup>3</sup>. Набивка, изготовленная с использованием качественного пуха ТРГ, обладает высокой упругостью, прочностью и сопротивляемостью выдавливанию в зазор и обеспечивает высокие эксплуатационные свойства сальникового уплотнения.

Какие основные требования должны предъявляться к сальниковой набивке, работающей в условиях высоких температур и давлений?

1. Набивка не должна выгорать, высыхать – т. е., терять массу, или терять её в ограниченных количествах – таких, которые могут быть компенсированы упругостью набивки.
2. Набивка не должна выдавливаться в зазоры под действием давления и возвратно-поступательного движения штока арматуры.
3. Набивка должна иметь максимально возможную упругость, т.е. способность упруго восстанавливать свою форму после снятия или уменьшения нагрузки во всём диапазоне рабочих температур.

Обладают ли этими важными свойствами дешёвые китайские набивки? ООО «Силур» ежегодно закупает небольшие объёмы набивок и крученой нити ТРГ у различных производителей в Китае для отслеживания изменения уровня их качества и участия в тендерах, проводимых «любителями низких цен», и проводит испытания для сравнения свойств китайских набивок из ТРГ с собственной аналогичной продукцией. Ниже приведены типичные результаты таких испытаний.

**Потеря массовой доли вещества при нагревании до температуры 400 и 500 °С с выдержкой в течение 1 часа**

Выбор указанных температур не случаен, ведь при 400 °С клеевая и армирующая составляющая выгорают полностью, а 500 °С – максимальная температура применения на воздухе для набивок ТРГ без ингибитора.

По результатам проверки потери массы набивок производства 2012 года и более ранних образцов, представленным в табл. 1, видно, что и мы, и наши китайские оппоненты работаем над снижением количества клеевой и низкотемпературной армирующей составляющей. Однако у нас это получается лучше.

Таблица 1. Потеря массовой доли вещества набивок графитовых (на основе ТРГ) различных производителей

Производитель	Период (годы)	Интервал значений потери массы, %, для марки графитовой набивки (или ее аналога) при температуре						Примечание
		НГ-100		НГ-200		НГ-300		
		400 °С	500 °С	400 °С	500 °С	400 °С	500 °С	
ООО «Силур», Россия	2008 – 2010	8,3 ÷ 10,1	10,2 ÷ 17,1	6,5 ÷ 8,2	9,9 ÷ 12,5	5,5 ÷ 6,5	7,3 ÷ 7,8	–
	2011 – 2012	–	–	4,4 ÷ 4,5	6,7 ÷ 7,1	4,3 ÷ 4,5	6,3 ÷ 6,9	Внедрена новая технология
Китайские компании	2008 – 2010	15,8 ÷ 17,5	20,2 ÷ 24,3	–	–	–	–	Контрольные испытания тестовых закупок ООО «Силур», а также по заявкам сторонних предприятий, закупивших набивки
	2011 – 2012	–	–	13,8 ÷ 16,1	14,8 ÷ 16,9	6,5 ÷ 10,9	7,4 ÷ 9,8	

Примечания:

1. Набивка НГ-100 изготовлена из нитей ТРГ, армированных лавсановыми (или хлопчатобумажными) нитями.
2. Набивка НГ-200 изготовлена из нитей ТРГ, армированных проволокой из нержавеющей стали.
3. Набивка НГ-300 изготовлена из нитей ТРГ, армированных стеклонитями.

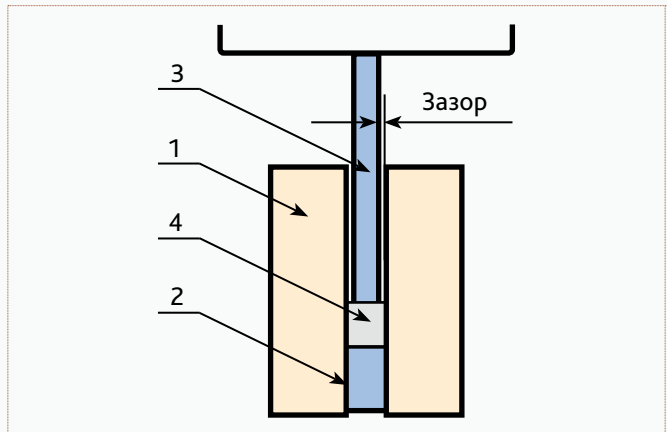


Рис. 2. Эскиз испытательного стенда

1 – матрица; 2 – выталкиватель; 3 – пуансон; 4 – образец набивки

**Определение упругих свойств и способности набивки сопротивляться выдавливанию в зазор в диапазоне удельных давлений от 20 до 60 МПа**

Данный диапазон давлений обжатия определялся исходя из показателей герметичности (см. статью Марка Ричардсона в журнале «Арматуростроение» 6/81/2012, где показана проницаемость набивок ТРГ для метана при различных давлениях обжатия) и рекомендаций РД 153-34.1-39.605-2002 «Общие требования и указания по применению уплотнений из терморасширенного графита в арматуре ТЭС».

Эксперимент проводился на прессе с использованием прямоугольной пресс-формы размером 160 × 20 мм с зазором на сторону 0,25 мм, эскиз которой приведен на рис. 2.

В пресс-форму плотно укладывалась набивка ТРГ, армированная стеклонитью длиной 160 мм, сечением 20 × 20 мм и плотностью 1,0 г/см<sup>3</sup>. Набивка подвергалась ступенчатому нагружению от 20 до 60 МПа с шагом 5 МПа. После каждого нагружения с выдержкой 10 минут набивка разгружалась, и измерялась восстанавливаемость образца. После максимального нагружения набивка извлекалась из прессформы, обкрошившийся и срезанный с углов набивки облой, выдавленный в зазор, собирался

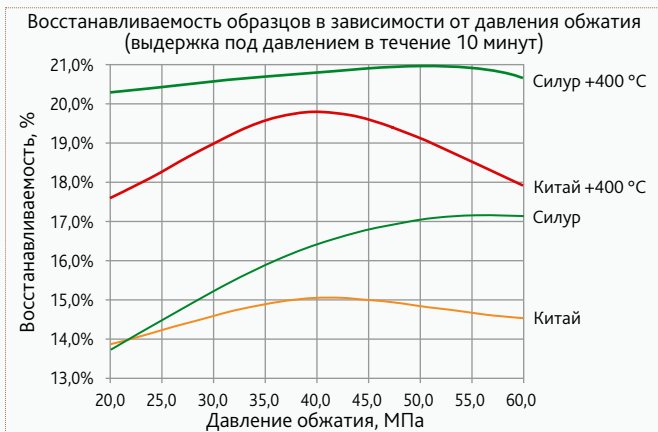


Рис. 3. График восстанавливаемости образцов набивки в зависимости от прилагаемого давления обжатия

и взвешивался. На следующем этапе испытаний набивку перед нагружением предварительно прокаливали в течение 1 часа при температуре 400 °С для полного удаления клея и стеклонити. Нагружение также проводилось ступенчато, с выдержкой 10 минут. Результаты испытаний отражены на графиках рис. 3 и 4.

Полученные данные (см. рис. 3) подтверждают более высокую упругость набивок ООО «Силур» по сравнению с набивками китайских производителей, особенно в области высоких удельных давлений. Для исходных набивок это объясняется наличием в китайских набивках незасыхающего клея, выдавливаемого в зазоры. Для прокаленных образцов – низкой прочностью графита ТРГ. Более низкие показатели упругости всех исходных набивок в сравнении с прокаленными набивками объясняются повышенной упругостью графита по сравнению с клеевыми полимерами в исследуемом диапазоне нагрузок.

Анализ графиков потери массы (см. рис. 4) вследствие выдавливания материала набивки в зазор показывает не только худшие показатели китайских набивок, но и их крайнюю нестабильность, объясняемую, видимо, нестабильностью техпроцесса производства.

Если соотнести суммарную потерю массы при нагревании и выдавливании в зазор и упругие свойства набивок, можно сделать вывод, что китайские набивки находятся в зоне риска, упругие свойства набивки лишь слегка компенсируют потери, и на дальнейшую эксплуатацию не остаётся никакого запаса.

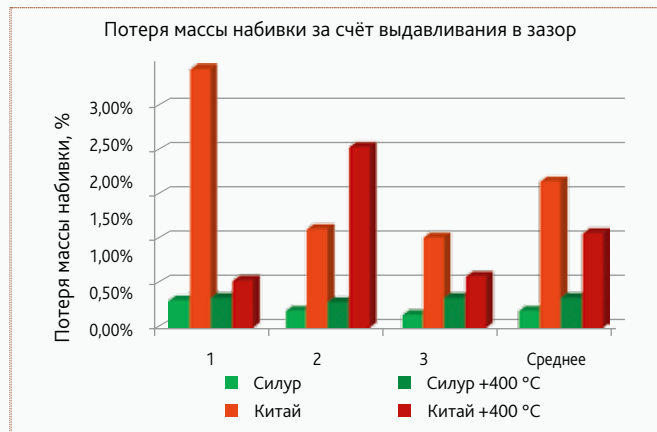


Рис. 4. График потери массы образцов набивки за счет выдавливания в зазор

Исходя из полученных данных и на основании многолетнего опыта производства и внедрения плетёных набивок ТРГ заявляем, что для набивок производства ООО «Силур» дополнительная подтяжка после первой теплосмены не требуется, тогда как для набивок китайского производства эта операция обязательна. Дополнительная подтяжка сальника в этом случае позволит избежать парения легколетучими углеводородами при низких давлениях, но позволит ли она гарантировать герметичность при давлениях высоких, учитывая склонность китайского графита к выдавливанию?

Попробуем исследовать набивки на стойкость к механическим воздействиям, растрепав руками пару-тройку графитовых нитей, из которых сплетены набивки. Скажем сразу, что после непродолжительных энергичных воздействий графит с обеих набивок осыпается (как впрочем, и с набивок любых самых изысканных брендов), но с китайской набивки графит осыпается мелкодисперсным порошком, а с нашей – крупными, размером 2-3 мм, плоскими чешуйками. Это свидетельствует о слабости, непрочности внутренних связей между отдельными частичками графита в китайской набивке при куда лучшем сцеплении графитовых «червячков» в набивке нашего производства.

Побывав в Китае на нескольких производствах графитовых уплотнений, выносим на суд читателя сделанные там фотографии линии прокатки армированной фольги (см. рис. 5 и 6), подтверждающие наше мнение о качестве китайской продукции. На фотографии видно, что графит



Рис. 5. Линия прокатки армированной графитовой фольги (китайское производство)



Рис. 6. Бункер-дозатор ТРГ-пуха (китайское производство)

товый «пух» ТРГ засыпается в бункер-дозатор прямо из мешка, видимо, вручную, а слой «пуха», подаваемого на прокатку, достаточно равномерно разравнивается передней стенкой бункера-дозатора, что говорит о его высокой сыпучести. Этот факт, в свою очередь, показывает, насколько низка степень расширения графита и высока его насыпная плотность.

Опираясь на двадцатилетний опыт производства терморасширенного графита, смеем предположить, что в данном случае речь идет о насыпной плотности не менее 5-6 г/дм<sup>3</sup>. В этом случае частички графита имеют вид очень коротких червячков, длиной 1,5-2 мм, с неразвитой поверхностью. При этом графит очень сыпучий и равномерно распределяется на транспортерной ленте обычным скребком. Но прочность полученной из такого «пуха» графитовой фольги крайне мала и составляет не более 2-2,5 МПа при плотности 1 г/см<sup>3</sup> (см. рис. 7), а содержание серы, в основном, в виде серной кислоты, зашкаливает, что ведет к повышенной коррозионной активности набивки. Низкая прочность графита существенно ухудшает сопротивление графита к выдавливанию в зазор, и дополнительная подтяжка такой набивки, если и позволит достичь требуемой герметичности, то ненадолго.

Таким образом, считаем, что и «парение» легколетучими углеводородами сальников арматуры на НПЗ и аварийное их разрушение в арматуре ТЭС имеют одну природу – появление в набивке в результате выгорания клея такого объема открытой пористости, который не в состоянии компенсировать за счёт остаточной упругости мелкий, с непрочными внутренними связями, некачественно расширенный ТРГ. При низких давлениях такая набивка становится газопроницаемой при сохранении общей целостности. А при повышении давления набивку начинает выдавливать в зазоры, появляется незначительная протечка, которая вследствие эрозионного разрушения материала набивки приводит к лавинообразному разрушению сальника и мгновенному выбросу уплотняемой среды.

В Китае достаточно фирм, производящих набивки по лицензионным технологиям и поставляющих их в Ев-

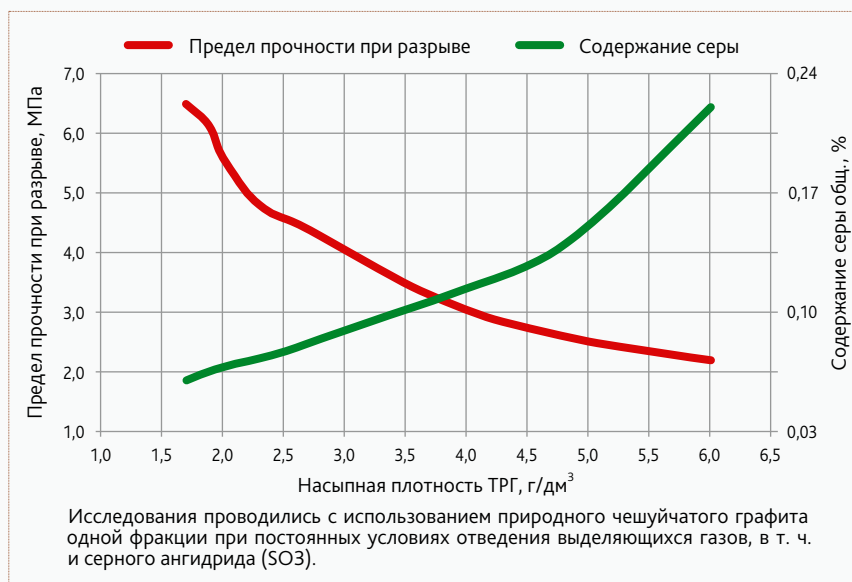


Рис. 7. График зависимости предела прочности при разрыве фольги ( $\rho = 1,0 \text{ г/см}^3$ ) и содержания серы общей от насыпной плотности ТРГ.

ропу и Америку под собственной маркой или под маркой известных компаний. Стоят эти набивки, конечно, приличных денег, но и качество – на соответствующем уровне.

Так почему же Российский рынок заполонён самым низкосортным и дешёвым товаром из Поднебесной? Или виноваты недобросовестные перекупщики, как правило, имеющие в названии аббревиатуру НПП (научно-производственные предприятия)? Причина – в порочной системе некорректно подготовленных тендеров, которая заставляет участников рынка предлагать и выбирать товар не по качеству, а по цене. При этом практически все понимают пагубность этой системы.

Выход из создавшейся ситуации, на наш взгляд, в правильно составленном техзадании и организации беспристрастного входного контроля, которые позволят получить не сиюминутную выгоду от закупки уплотнений по низкой цене, а реальное снижение эксплуатационных расходов и исключение рисков аварийного останова оборудования. И в том, и в другом специалисты ООО «Силур» готовы оказать всем заинтересованным посильную помощь.

Обсудить статью, высказать своё мнение и получить дополнительную информацию Вы можете на сайте: [www.i-valve.ru](http://www.i-valve.ru). Там же вы можете ознакомиться с фотографиями некоторых китайских производств и комментариями к ним.