

FLAT GASKET IN INDUSTRY: A REVIEW⁴

Evlogi Mladenov, PhD Student

Department of Materials Science & Technology,
“Angel Kanchev” University of Ruse, Bulgaria

Phone: 082 888 205

E-mail: emladenov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Danail Gospodinov, PhD

Department of Materials Science & Technology,
“Angel Kanchev” University of Ruse, Bulgaria

Phone: 082 888 205

E-mail: dgospodinov@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Rossen Radev, PhD

Department of Materials Science & Technology,
“Angel Kanchev” University of Ruse, Bulgaria

Phone: 082 888 778

E-mail: rradev@uni-ruse.bg

***Abstract:** The article discusses flat gaskets used in various industries in the presence of flange joints. A brief classification of the types of seals and gaskets is made in the paper. Existing constructions and materials for making gaskets are reviewed, paying attention to their advantages and disadvantages. The Emphasis is placed on expanded polytetrafluoroethylene gaskets and the technology for production of this type of seals. Standardized methods and test procedures according to a European standard for determining the parameters of the gaskets and for establishing the values of these parameters are presented.*

***Keywords:** flat gasket, expanded polytetrafluoroethylene /ePTFE/, creep relaxation factor*

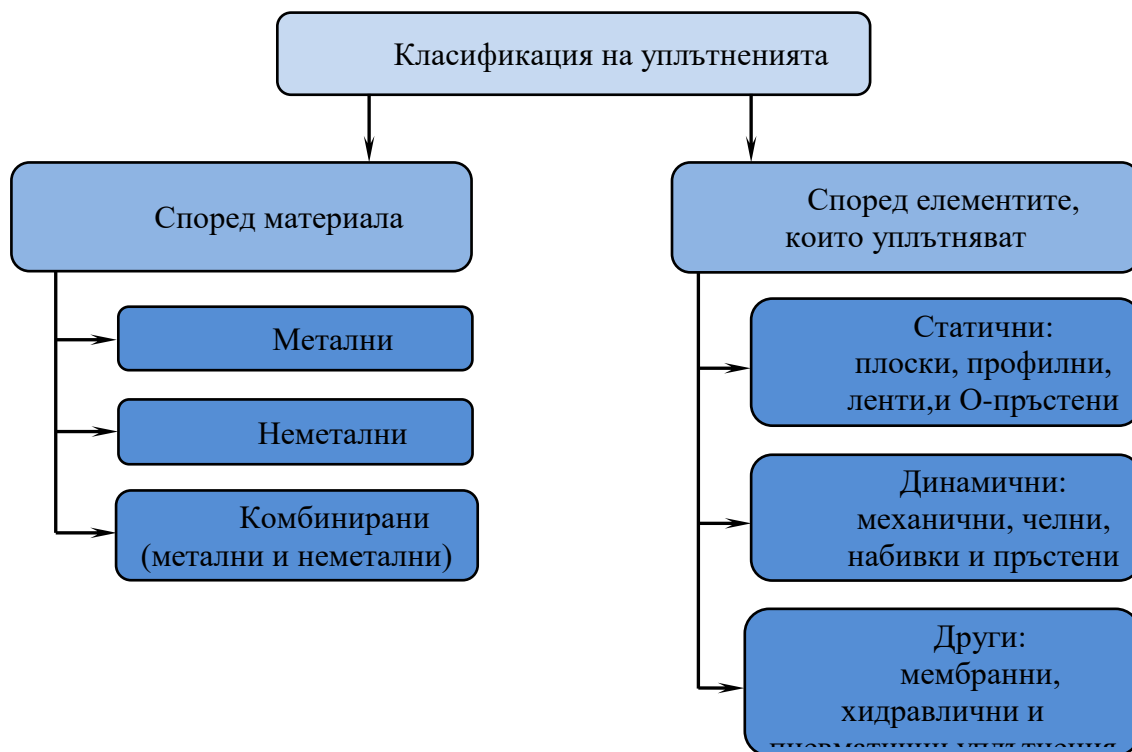
ВЪВЕДЕНИЕ

За предотвратяване изтичането на течности и газове на промишлените съоръжения се налага използването на уплътнения. Плоските уплътнения заемат над петдесет процента от използваните в практиката уплътнения. Уплътнения за статично уплътняване се използват в съоръжения и инсталации на химическа, нефтохимическа, рафинерии, електроцентрали, водоснабдяване, хранително-вкусова, фармацевтика и други съоръжения. Най-често се изработват от деформируем материал, монтиран между две неподвижни повърхнини притиснати чрез крепежни елементи и служат за преграда между флуида в системата и заобикалящата ги среда, както и за компенсиране на несъвършенствата на повърхностите. За да се гарантира херметичност на болтово фланцевата връзка е необходимо контактното напрежение действащо върху уплътнителя да е по-голямо от налягането в системата. Избора на уплътнение е свързан с необходимостта системата да работи дълготрайно и безотказно, като водещ фактор при избора на уплътнение е експлоатационната среда - налягане, температура, вид на флуида и околната среда.

ИЗЛОЖЕНИЕ

На фиг.1 е показана кратка класификация на най-често използваните в практиката уплътнения според материала, от които са изработени и според елементите, които уплътняват.

⁴ Докладът е представен на научната конференция на РУ и СУ 2021 с оригинално заглавие на български език: ПЛОСКИ УПЛЪТНЕНИЯ В ИНДУСТРИЯТА - ПРЕГЛЕД



Фиг. 1. Класификация на уплътненията според използвания материал и елементите, които уплътняват

1. Метални уплътнения

Металните уплътнения могат да се изработят от един метал или комбинация от метали (Nurhadiyanto, D. I. D. I. K., Naruyama, S. H. I. G. E. Y. U. K. I., Mujiyono, S., & Ristadi, F. A. 2020) в различни форми и размери. Те могат да бъдат плоски, набраздени, вълнообразни и с профилно сечение. Най-често използваните материали са олово, мед, алуминий, бронз, нисковъглеродна стомана, неръждаема стомана, инконел, монел и титан. Пластичността и добрата обработваемост на оловото, бронза, алуминия, медта и ниско въглеродна стомана са основните причини за използването им като уплътнителен материал. Неръждаема стомана, инконел, монел и титан се използват поради добрата им корозионна устойчивост (Lavrenko, V. A., Shvets, V. A., & Makarenko, G. N. 2001). Те са подходящи за уплътнени работещи при високи температури (над 750°C) в зависимост от материала. Недостатък е по-високата им цена.

2. Комбинирани уплътнения

Това са най-често слоести уплътнения, изработени с използване на метал и неметал в различни комбинации и конструкции. Метала се използва за носещ или облицоващ елемент за да подобри якостта на уплътнителя и да го изолира от заобикалящата го среда. От вида на използваните материали зависят работните характеристики на уплътнителя.

2.1. Метално подсилени уплътнения „тип сандвич“ – съставени са от неръждаема стомана или мрежа, служеща за армировка с двустранно покритие от неметален уплътнителен материал. Като такъв най-често се използва „гъвкав графит“ (Birembaut, Y., & Ledauphin, T. 1994) или ПТФЕ (политетрафлуороетилен). Предимството на този вид конструкции е подобрената якост на уплътнението със запазване пластичността на неметала, който контактува с фланцевите повърхности. Съществуват и конструкции, при които металната армировка изцяло е покрита с облицовъчен неметал.

2.2. Метално облечените уплътнения – състоят се от мек деформируем материал, най-често „гъвкав графит“ и безазбестов материал, частично или изцяло обвит в метал (Latte, J., & Coomber, D. 2014). Метала освен, че подобрява якостта на уплътнителя, служи и за защита срещу агресивни среди.

2.3. Набраздени метални уплътнения с покриващи слоеве (Кампрофайл) – уплътненията „Кампрофайл“ са изработени от плътен метален пръстен с набраздени повърхности и мек облицовъчен материал от гъвкав графит или ПТФЕ. Набраздените повърхности подобряват уплътняването, но необходимостта от допълнителна обработка повишава цената им.

2.4. Спирално навити уплътнения (СНУ) – тези уплътнения се състоят от „V-образно” оформени метални ленти с последователно навита лента от пълнеж материал. Металните намотки в комбинация с неметалната пълнителна част осигуряват здравина, еластичност и устойчивост (Jaszak, P. 2020). Могат да са с вътрешни и външни стоманени пръстени от нисковъглеродна или неръждаема стомана.

Комбинация от „Кампрофайл“ и СНУ е уплътнението с метални пластини с повишена дебелина разположени една до друга и покрити с експандиран графит (Bond, S., & Jamalyaria, E. 2014).

3. Неметални уплътнения

Тези уплътнения могат да са еднородни и композитни и поради голямото си разнообразие са подходящи за приложения при ниски и високи температури в зависимост от материалите, част от тях са устойчиви на агресивни среди. Използването им обикновено е ограничено до средно налягане на работната среда от 50 bar.

3.1. Гумени уплътнения – приложими са при ниски температури 80-85°C и налягания 10 bar, като най-често се използва обикновена гума /стирен-бутадиен каучук SBR/, маслоустойчива /акрилонитрил бутадиен каучук NBR/ и киселино устойчива /етилен пропилен диен мономер каучук EPDM/, които притежават добра еластичност и са рециклируеми (Myhre, M., Saiwari, S., Dierkes, W., & Noordermeer, J. 2012). Друга разновидност на гумени уплътнения са тези от Viton и силиконова гума, които са приложими до температура 230°C. Като недостатък на тези уплътнения може да се посочи промяната на физичните и механичните свойства под въздействие на околната среда с течение на времето (Tan, J., Chao, Y. J., Yang, M., Lee, W. K., & Van Zee, J. W. 2011).

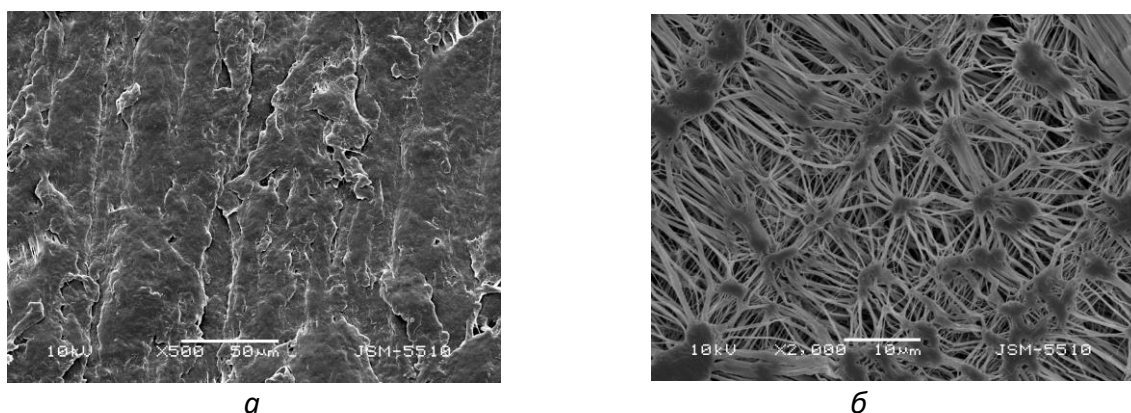
3.2. Уплътнения от корк - коркът е еластичен и водонепропусклив материал, подходящ за съоръжения с ниски налягания и температури до 120°C. Поради ниската си плътност притежава висока степен на свиваемост и възстановяване (Duarte, A. P., & Bordado, J. S. 2015). Предимство е ниската му цена и възможността за приложението му в хранително вкусовата промишленост.

3.3. Уплътнения от графит с понижена плътност (гъвкав графит) – гъвкавият графит се използва като уплътнителен материал за температури до 550°C (Wang, W. P., Pan, C. Y., & Wu, J. S. 2005). Недостатък на този материал и уплътненията изработвани от него е окисляването му при високи температури и предизвикваната от това корозия.

3.4. Филосиликатни уплътнения – изработват се от материали като вермикулит и мика (слюда) и за разлика от графита не се окисляват при повишени температури. Намират приложение при температури до 980°C (Damdar, S., Drago, J., & Evans, W. 2014).

3.5. Безазбестови уплътнения – изработват се на база различни влакна, пълнители и свързващи вещества. Използват се, като уплътнителен материал в тръбопроводи и различни инсталации поради широкия диапазон на експлоатационните им характеристики. (Cipolatti, C. F., de Sousa, A. M., & Veiga, J. C. 2004), (Li, Y. X., Liu, M. H., Yuan, X. C., & Jia, Y. D. 2014). Могат да достигнат работни температури до 400°C и налягания до 100 bar.

3.6. Уплътнения от политетрафлуороетилен (ПТФЕ или тефлон) – ПТФЕ се използва като уплътнителен материал, защото е химически устойчив, диелектрик, биосъвместим, което го прави подходящ за приложение в медицината и хранително-вкусовата промишленост, притежава нисък коефициент на триене, с добри физични свойства, но с недостатък, че отделя вредни пари при температура над 260°C и намалява дебелината си при монтаж в следствие на "студено изтичане" /пластична деформация/ (Handbook, P. Teflon PTFE), също и променя механичните си свойства в радиоактивна среда (Wyszkowska, E., Leśniak, M., Kurpaska, L., Prokopowicz, R., Jozwik, I., Sitarz, M., & Jagielski, J. 2018). За повишаване на показателя на херметичност PQR /creep relaxation factor/, представляващ отношението на остатъчното контактно напрежение и началното съгласно стандарт БДС EN 13555 към ПТФЕ се добавят различни пълнители, като фибри, сфери, графит и други (Stan, F., & Fetecau, C. 2013). Избягване на „студеното изтичане” и повишаване на фактора на херметичност на уплътненията най-ефективно е постигнато при разширен ПТФЕ (еПТФЕ), при който микроструктурата на материала представлява мрежа от взаимосвързани възли и фибрили, които увеличават якостта на опън, намаляват плътността и увеличават свиваемостта на материала (Zheng, X. T., Wang, H. Y., Wang, W., Lin, W., Ma, L. W., Xu, J. M., & Yu, J. Y. 2017). На фиг.2 са представени изображения от електронен микроскоп на ПТФЕ (фиг.2.а) и еПТФЕ (фиг.2.б), от които се вижда разликата в порьозността на двата вида.



Фиг. 2. Структура на ПТФЕ, 500х (а) и на еПТФЕ, 2000х (б)

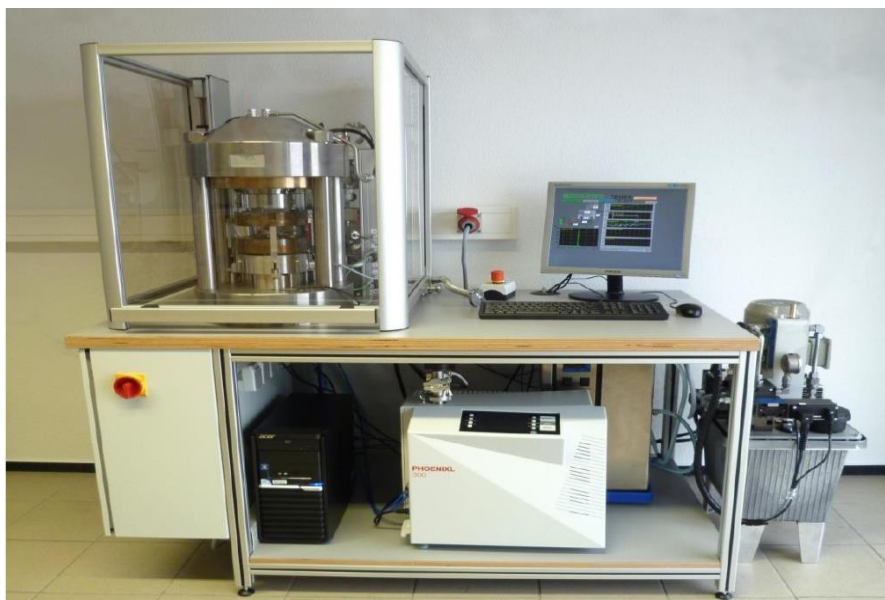
Двата вида ПТФЕ се различават по механични и физични свойства, което се дължи на разликите в технологиите, по които се произвеждат. ПТФЕ се произвежда от фин ПТФЕ прах чрез пресоване и последващо синтероване при температура 360°C. Плътността на уплътнителния лист е 2,2 g/cm³, докато тази на еПТФЕ е 0,6±0,9 g/cm³. При производство на този вид листи, ПТФЕ праха смесен с лубрикант в съотношение 1:0.2 се екструдира във формата на плътен шнур, след което се каландрира до получаване на фолио. Полученото фолио преминава през комбинирана машина за изпаряване на лубриканта и последващо разпъване по посоката на екструдиране, след което така полученото фолио се разпъва и напречно на посоката на екструдиране. Получените платна се навиват или нареждат на слоеве, нагряват се до температура 350÷360°C, за да се постигне слепване на отделните слоеве и получаване на уплътнителен лист. Желаната дебелина на уплътнителните листи се постига посредством промяна на броя на слоевете. Приложими са при температура от – 190 до +250°C и налягания до 200 bar.

Въпреки пет кратната разлика в цената между ПТФЕ и еПТФЕ уплътненията, еПТФЕ е предпочитан материал, защото освен споменатите предимства, този тип уплътнения компенсират нарушената паралелност, несъвършенствата и повредите на уплътнителните повърхнини настъпили по време на експлоатационния живот на съоръженията. Подходящи са както за съоръжения със стоманени фланци така и за крехки фланци, като пластмасови и стъклени.

За избора на уплътнител в конкретна инсталация е необходимо да са известни и неговите параметри. Стандарт БДС EN 13555 определя параметрите на уплътненията и предоставя тестовите процедури за установяване на стойностите на тези параметри. Тестовите се провеждат с помощта на специализирана апаратура, показана на фиг.3. Тестовата инсталация е с възможност за промяна на контактното напрежение действащо на уплътнителя, температурата и налягането при следните параметри:

- точност на преместване на горното бутало 0,001 mm;
- максимално усилие 1000 kN (100 t);
- работно налягане на тестовия газ до 160 bar;
- изменение на работните температури в границите от стайна до 600°C.

В софтуера на апаратурата са заложили стандартизирани тестове, но могат да се провеждат и тестове с ръчно въвеждане на параметрите.

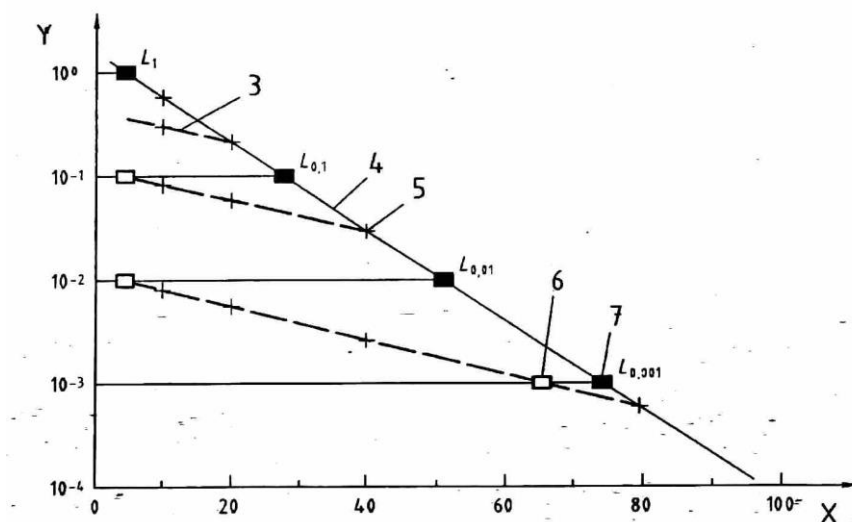


Фиг. 3. Общ вид на апаратура за определяне на параметрите на плоски уплътнения

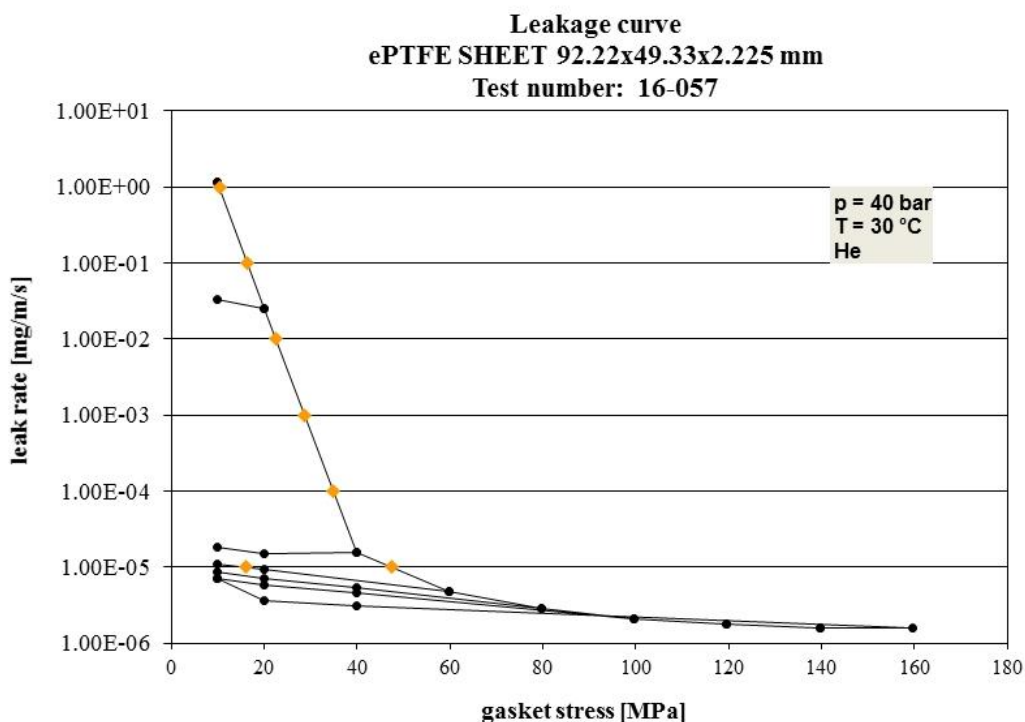
Основните показатели, определяни при това изпитване са:

- класа на херметичност L_N ;
- необходимото минимално контактено напрежение на уплътнението при работни условия $Q_{Smin(L)}$, за запазване на класа на херметичност.

На фиг.4 е посочен алгоритъма за определяне на класа на херметичност съгласно изискванията на БДС EN 13555. Фиг. 5 представя резултатите от конкретно изпитване на уплътнение от еПТФЕ, при следните условия: $p=40\text{bar}$; $T=30^\circ\text{C}$; тестов газ – He. По време на изпитанието върху уплътнителя се прилага поетапно нарастващо контактено напрежение (отчитано по ос x), в случая до 160MPa и разтоварване до 10 MPa. При достигане на точките на измерване налягането на тестовия газ се повишава и чрез детектор за изтичане се измерва количеството преминал газ.



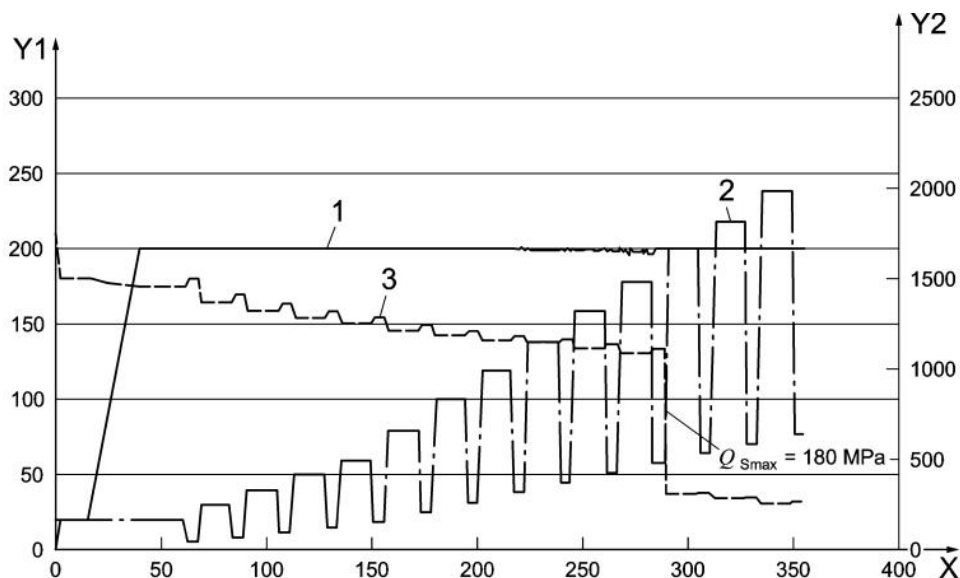
Фиг. 4. Алгоритъм за определяне на нивата на утечки по БДС EN 13555: X – ефективно контактно напрежение на уплътнението, МРa; Y – интензивност на утечките, mg/m/s; 3 – разтоварване; 4 – натоварване; 5 – точка на измерване; 6 – $Q_{S \min(L)}$; 7 – $Q_{\min(L)}$



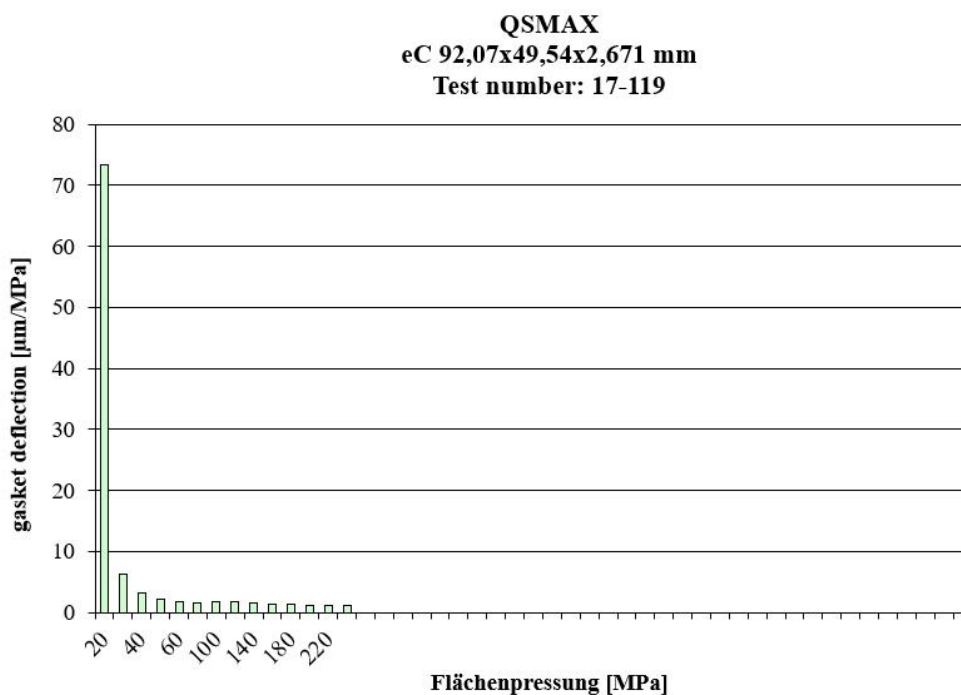
Фиг. 5. Резултат от проведен тест за определяне на нивата на утечки по БДС EN 13555

На фиг.6 е показан алгоритъмът за определяне на максимално контактно напрежение Q_{Smax} , с което уплътнението може да се натоварва при работна температура без да настъпи разрушаването му. Теста може да се проведе както при стайна, така и повишена температура. Уплътнителя се натоварва стъпаловидно през 20 МРa до 240МРa, като след всяко натоварване следва разтоварване съответстващо на 33% от натоварването и се отчита промяната в дебелината на тествания образец.

Промяната на дебелината на уплътнението в следствие на силата на притискане, като един от резултатите от провеждания тест е показан на фиг.7

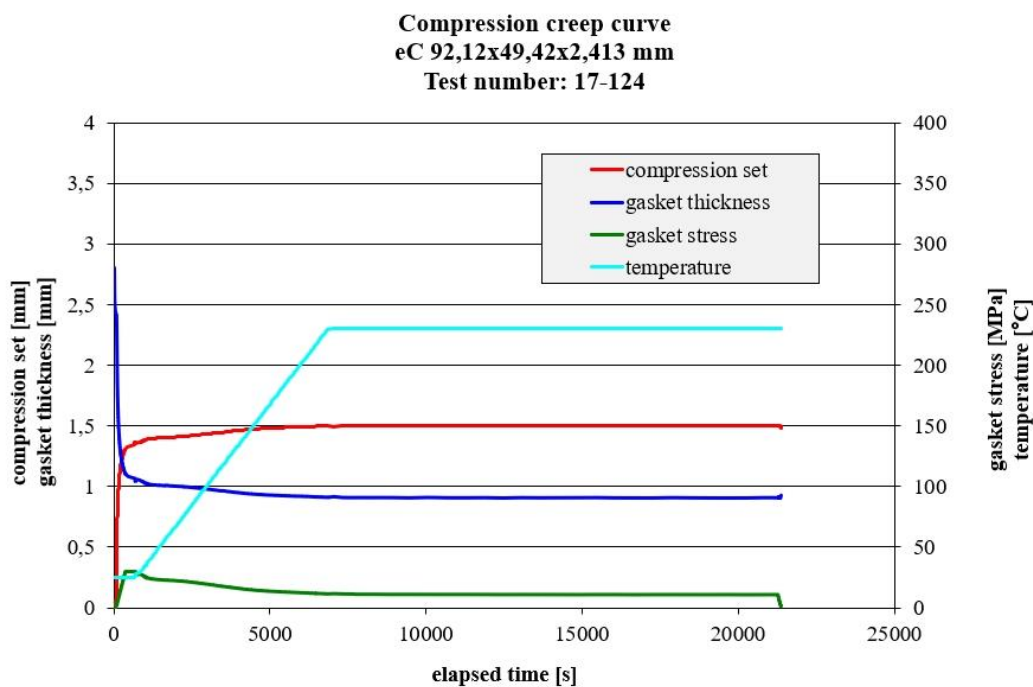


фиг. 6. Алгоритъм по БДС EN 13555: X – време [min], Y1 – температура [°C] и контактно напрежение на уплътнението [MPa]; Y2 – Дебелина на уплътнението [μm]; 1 – температура [°C]; 2 – контактно напрежение на уплътнението [MPa]; 3 – дебелина на уплътнението [μm]



фиг. 7. Резултат от проведен тест

Показателя на херметичност RQR, представляващ отношението на остатъчното контактно напрежение към първоначално приложеното се определя при различни натоварвания и температура. На фиг.8 е показан тест, при който върху уплътнителя е приложено контактно напрежение от 30 MPa при температурата от 230°C. След задържане 4 часа и отчетено остатъчното контактно напрежение.



Фиг. 8. Тест за определяне на P_{QR}

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ИЗВОДИ

Резултатите от тестовете служат за определяне на граничните параметри при различните уплътнения, прилагането им за правилния монтаж и избягване на възможността от повреда. Стремежа на производителите на уплътнения е да намират нови конструкции и решения с използване на познатите материали. Правилният избор на уплътнение осигурява:

1. Намаляване на отделяните емисиите в атмосферата и изтичане на течности с цел опазване на околната среда;
2. Постигане на оптимални експлоатационни резултати на всички компоненти, за да се гарантира надеждна и дълготрайна херметичност на системата;
3. Избягване на сериозни загуби на суровини и негативно въздействие върху околната среда и замърсявания.

REFERENCES

- Birembaut, Y., & Ledauphin, T. (1994). The characterization of industrial graphite-sheet-based gaskets. *Sealing Technology*, 1994(7), 9-11.
- Bond, S., & Jamalyaria, E. (2014, July). Further Developments to the Change Gasket. In *Pressure Vessels and Piping Conference* (Vol. 46063, p. V007T07A010). American Society of Mechanical Engineers.
- Cipolatti, C. F., de Sousa, A. M., & Veiga, J. C. (2004, January). Determination of critical temperature of compressed non-asbestos fiber sheet gaskets. In *ASME Pressure Vessels and Pip-ing Conference* (Vol. 46733, pp. 57-59).
- Damdar, S., Drago, J., & Evans, W. (2014, March). Non-Metallic Sealing Material for Elevated Temperature Applications. In *Pressure Technology* (Vol. 40740, pp. 126-143). American Society of Mechanical Engineers.
- Duarte, A. P., & Bordado, J. C. (2015). Cork—a renewable raw material: forecast of industrial potential and development priorities. *Frontiers in Materials*, 2, 2.
- Handbook, P. Teflon PTFE.
- Jaszak, P. (2020). Modeling of the elastic properties of compressed expanded graphite-A material used in spiral wound gaskets. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 187, 104158

- Latte, J., & Coomber, D. (2014). Industrial gaskets. In *Gaskets and Gasketed Joints* (pp. 103-138). CRC Press.
- Lavrenko, V. A., Shvets, V. A., & Makarenko, G. N. (2001). Comparative study of the chemical resistance of titanium nitride and stainless steel in media of the oral cavity. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 40(11), 630-636.
- Li, Y. X., Liu, M. H., Yuan, X. C., & Jia, Y. D. (2014). Study on the Sealing Property of Non-asbestos Fiber Gasket. In *Advanced Materials Research* (Vol. 1049, pp. 105-109). Trans Tech Publications Ltd.
- Myhre, M., Saiwari, S., Dierkes, W., & Noordermeer, J. (2012). Rubber recycling: chemistry, processing, and applications. *Rubber chemistry and technology*, 85(3), 408-449.
- Nurhadiyanto, D. I. D. I. K., Haruyama, S. H. I. G. E. Y. U. K. I., Mujiyono, S., & Rista-di, F. A. (2020). The Performance of Nickel and Copper as Coating Materials for Corrugated Metal gaskets. *Journal of Engineering Science and Technology*, 15(4), 2450-2463.
- Stan, F., & Fetecau, C. (2013). Study of stress relaxation in polytetrafluoroethylene composites by cylindrical macroindentation. *Composites Part B: Engineering*, 47, 298-307.
- Tan, J., Chao, Y. J., Yang, M., Lee, W. K., & Van Zee, J. W. (2011). Chemical and mechanical stability of a Silicone gasket material exposed to PEM fuel cell environment. *International journal of hydrogen energy*, 36(2), 1846-1852.
- Wang, W. P., Pan, C. Y., & Wu, J. S. (2005). Electrical properties of expanded graph-ite/poly (styrene-co-acrylonitrile) composites. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 66(10), 1695-1700.
- Wyszkowska, E., Leśniak, M., Kurpaska, L., Prokopowicz, R., Jozwik, I., Sitarz, M., & Jagielski, J. (2018). Functional properties of poly (tetrafluoroethylene) (PTFE) gasket working in nuclear reactor conditions. *Journal of Molecular Structure*, 1157, 306-311.
- Zheng, X. T., Wang, H. Y., Wang, W., Lin, W., Ma, L. W., Xu, J. M., & Yu, J. Y. (2017). Compressive ratcheting effect of expanded PTFE considering multiple load paths. *Polymer Testing*, 61, 93-99.