

УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД ИСПЫТАНИЙ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОЙКОСТИ К БЫСТРОМУ РАСПРОСТРАНЕНИЮ ТРЕЩИН В ПЭ ТРУБАХ

Федоров Ю.Ю., Попов С.Н., Саввина А.В., Васильев С.В., Родионов А.К.
ФГБУН Институт проблем нефти и газа СО РАН, ул.Автодорожная 20,
г. Якутск, 677007 Россия

yuristan@yandex.ru, io1982@mail.ru, spira_ira_vas@mail.ru,

Разработан и апробирован новый упрощенный экспериментальный метод испытания на определение стойкости к быстрому распространению трещин в ПЭ трубах, основанный на экспериментально регистрируемом явлении вырождения при понижении температуры «рисунка губ сдвига» на поверхностях излома образцов трубных марок полиэтиленов в испытаниях на трещиностойкость образца с надрезом в температурно-скоростном диапазоне. Апробация метода подтвердила существенную разницу в значениях нижних допустимых температурных границ эксплуатации газопроводов из ПЭ труб для материалов ПЭ80 ($T \approx 5^\circ\text{C}$) и ПЭ100 ($T \approx 20^\circ\text{C}$).

К настоящему времени сформировалась концепция, согласно которой надежность полиэтиленовой трубы, прежде всего газовой, обуславливается совокупностью трех ключевых параметров (показателей): минимальной длительной прочностью (MRS), стойкостью к медленному (SCG) и стойкостью к быстрому (RCP) растрескиванию. Последний фактор играет определяющую роль при выборе марки материала полиэтиленового трубопровода для условий холодного климата и накладывает ограничение по допустимой нижней границе эксплуатационных температур.

В основе предлагаемого (разработанного) метода лежит идея использования экспериментально регистрируемого явления вырождения, при

понижении температуры, «рисунка губ сдвига» на поверхностях излома образцов трубных марок полиэтиленов в испытании на трещиностойкость в температурно-скоростном диапазоне, доступном для серийно-выпускаемых стандартных испытательных машин, оснащенных термокриокамерой.

Считается установленным фактом существование температурной границы (температуры перехода, $T_{пер}$), определяющей возможность распространения быстрой трещины (область $T < T_{пер}$), связанной с процессом формирования так называемых «губ сдвига» (shear lips) (рис.1) на поверхностях разрушения образцов ПЭ труб [1].

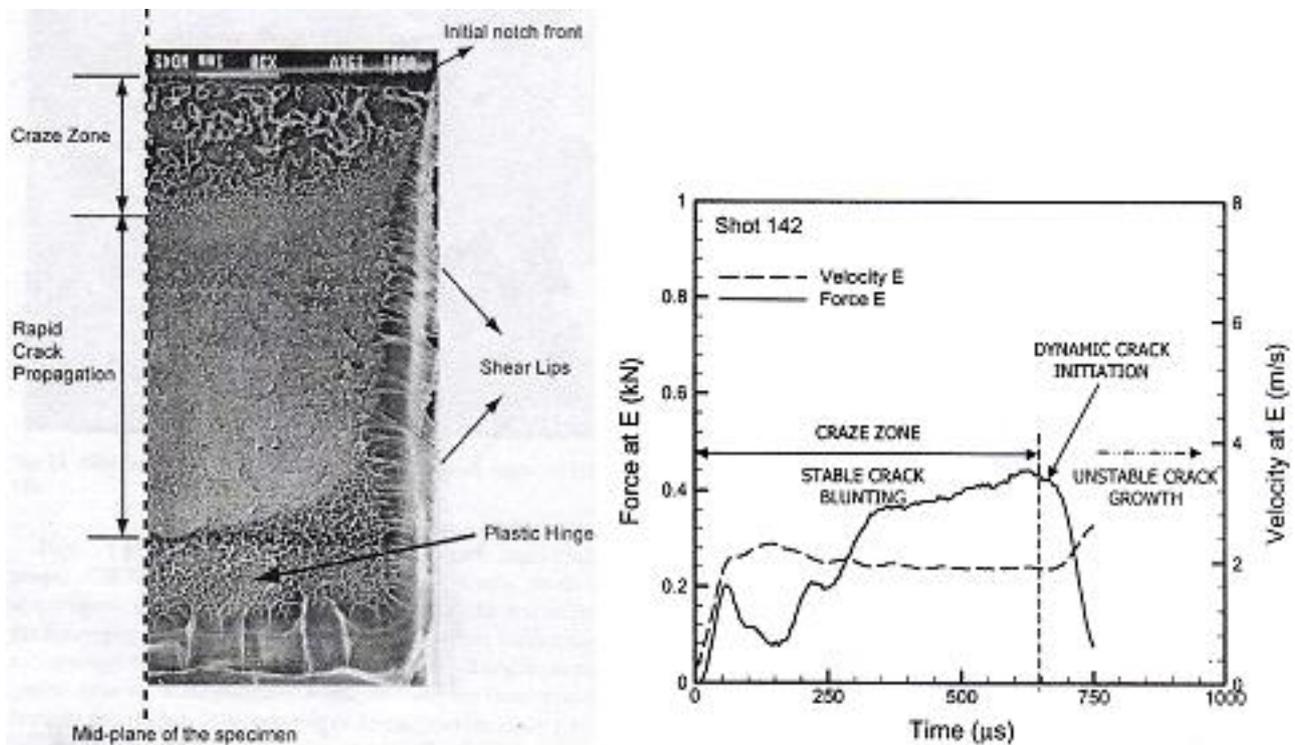


Рис.1. Поверхность разрушения и кривые регистрации усилия и скорости ударника в испытании на вязкость разрушения образца ПЭВП с односторонним надрезом [1].

Они начинают проявляться при температуре испытаний, несколько меньшей $T_{пер}$ и имеют ограниченную ширину – меньше 0,5 мм [2]. При $T \geq T_{пер}$ губы сдвига быстро растут приводя к торможению и остановке трещины.

На рис. 2, 3 приведены фотографии поверхностей разрушения (изломов) образцов трубных марок полиэтиленов, изготовленных из труб ПЭ80 и ПЭ100 (SDR11, $\varnothing 110$) в форме полосок с размером ($h \times b \times L$): $9 \times 26 \times 120$ мм, тип 2, с краевым односторонним надрезом. Надрезы глубиной (1) наносили ножовочным полотном с последующим заострением лезвием безопасной бритвы. Испытания образцов на растяжение проведены на машине UTS 20K при скорости движения нагружающей траверсы 500 и 1000 мм/мин, в температурном диапазоне $0 \div -30^\circ\text{C}$, при расстоянии между захватами 60 мм.

Представленные фотографии четко фиксируют отсутствие и наличие губ сдвига на поверхностях излома образцов при визуальном контроле момента «вырождения рисунка» губ сдвига в испытаниях. Этот факт наблюдается в испытаниях при температуре ниже перехода $T_{пер}$, см. рис.4. При этом наблюдается «универсальность» метода по отношению к стандартизации размера (глубины) нанесенного на образец надреза, а, следовательно, и к уровню запасенной энергии, необходимой для осуществления процесса инициирования и распространения в образце быстрой трещины. К достоинствам разработанного метода следует отнести и простоту изготовления образца для испытаний.

Интерпретация результатов в рамках представлений (положений) механики разрушения, с учетом специфики механического поведения аморфно-кристаллического полимера (полиэтилен), представляется следующей. На поверхностях излома образцов, в момент наступления неустойчивости (старт быстрой трещины) имеются прямой (условия плоского деформированного состояния, ПДС) и косой (губы сдвига – условия плоского напряженного состояния, ПНС) участки излома. Вязкость разрушения материала в решающей

степени определяется затратами энергии на локальное пластическое деформирование в вершине трещины при ее росте. При этом пластическое деформирование в аморфно-кристаллическом полимере может происходить по двум основным механизмам – вынужденно-эластическим сдвиговым деформациям, с образованием полос скольжения или вынужденно-эластическим деформациям растяжения, с образованием микротрещин (крейзообразования).

При низкотемпературных испытаниях видимый рисунок губ сдвига не образуется в силу относительно малой протяженности зоны распространения условий ПНС по толщине образца, см. рис. 2а, 3в. Они начинают проявляться при температуре несколько меньшей $T_{пер}$ и имеют, как указывалась ранее, ширину – менее 0,5мм. В этой области температур общая вязкость разрушения образца контролируется сопротивлением разрушению в области плоского излома (ПДС). Трещина нормального отрыва распространяется в образце по типу «туннеля» - от надреза по центру образца и, частично, по его толщине. Боковые перемычки (ПНС) разрываются путем сдвига при достижении достаточно больших смещений у вершины трещины, так что трещина в целом распространяется смешанным образом – пробиванием туннеля при разрушении путем отрыва в сочетании с торможением косым изломом (губами сдвига – среза, ПНС). При $T > T_{пер}$ губы сдвига быстро растут приводя к аресту трещины.

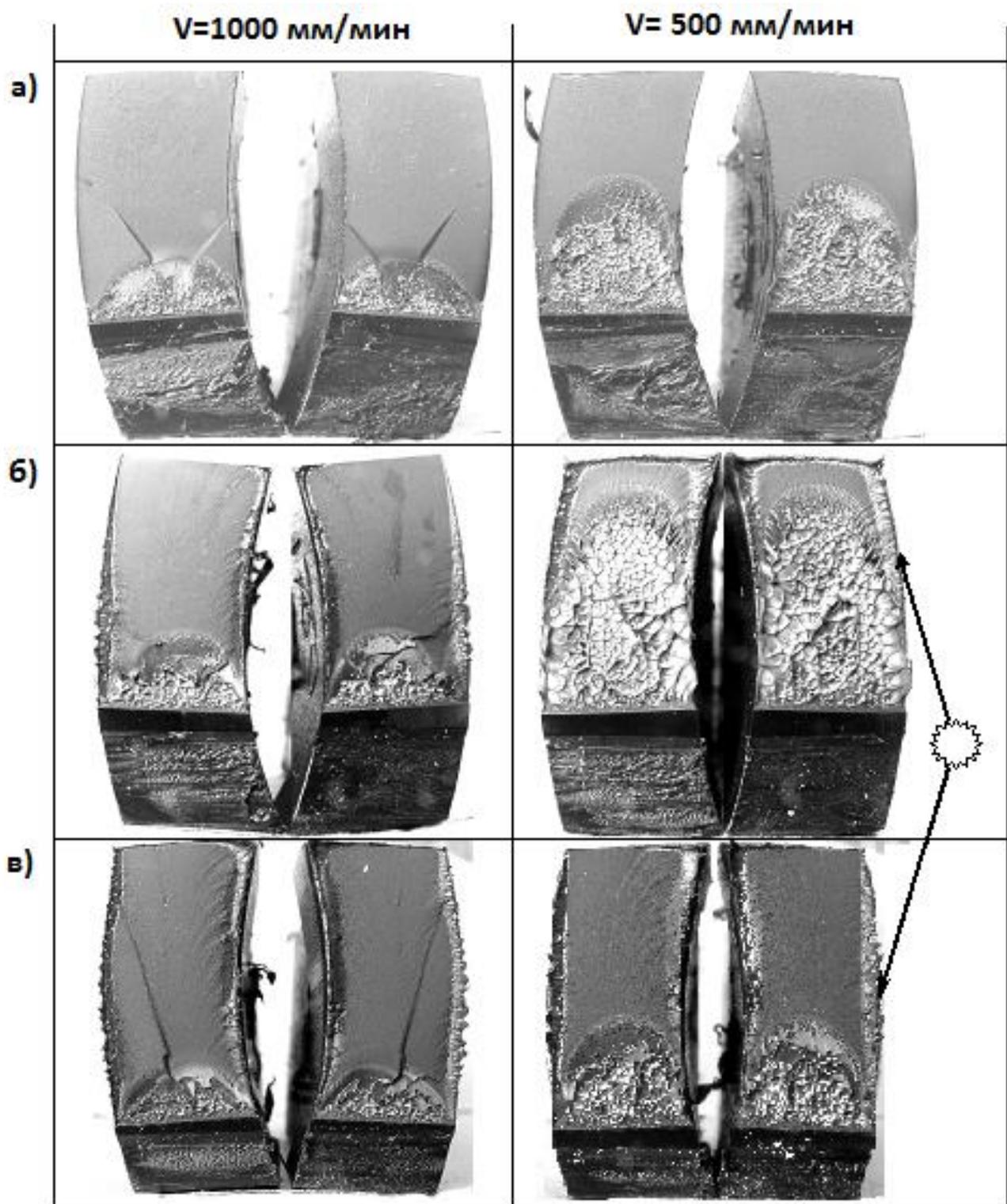


Рис. 2. Поверхности разрушения образцов труб ПЭ80 (размер образцов 2), испытанных при температурах (Т): а) $T = -15^{\circ}\text{C}$, $l/b = 0,35$; б) $T = 0^{\circ}\text{C}$, $l/b = 0,35$; в) $T = 0^{\circ}\text{C}$, $l/b = 0,2$ и двух скоростях ($V_{\text{исп}}$): 1000 мм/мин и 500 мм/мин;  - губы сдвига.

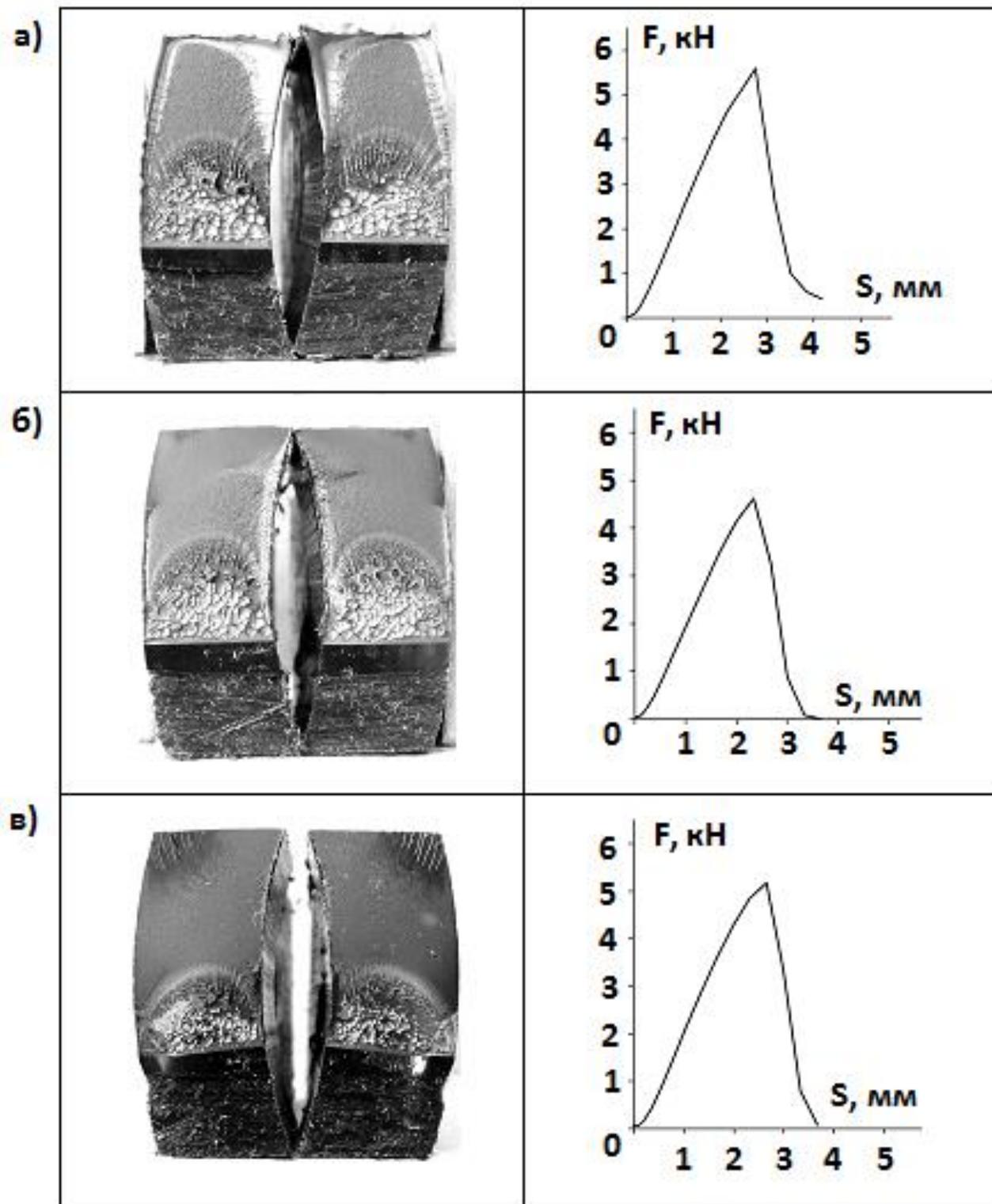


Рис. 3. Поверхности разрушения и диаграммы нагрузка-перемещение образцов труб ПЭ100 (размер образцов 2; $l/b = 0,35$), и испытанных при скорости 1000 мм/мин и температурах (Т): а) $T = -15^{\circ}\text{C}$; б) $T = -20^{\circ}\text{C}$; в) $T = -30^{\circ}\text{C}$.

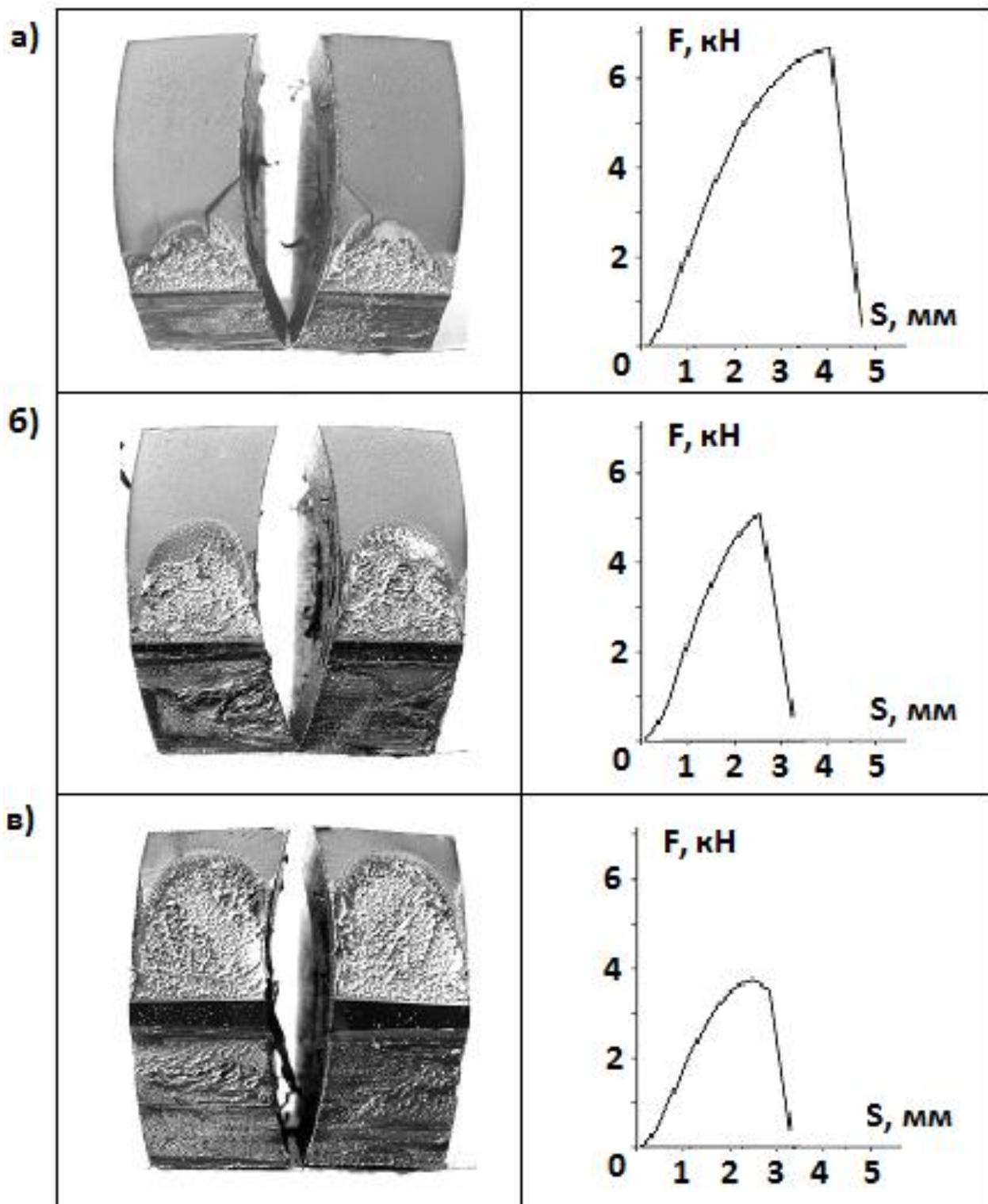


Рис. 4. Поверхности разрушения и диаграммы нагрузка-перемещение образцов труб ПЭ80 (размер образцов 2), испытанных при скорости 500 мм/мин и температуре $T = -15^{\circ}\text{C}$, с различной глубиной надреза: а) $l/b = 0,20$; б) $l/b = 0,35$; в) $l/b = 0,50$.

Разработан и апробирован новый упрощенный экспериментальный метод испытания на определение стойкости к быстрому распространению трещин в ПЭ трубах, основанный на экспериментально регистрируемом явлении вырождения при понижении температуры «рисунка губ сдвига» на поверхностях излома образцов трубных марок полиэтиленов в испытаниях на трещиностойкость образца с надрезом в температурно-скоростном диапазоне.

Реализация методики позволит снизить трудоемкость и технические требования к испытательному оборудованию. Произведенная в рамках разработанной методики оценка допустимой нижней температуры эксплуатации полиэтиленового газопровода показала существенную разницу значений показателей для материалов ПЭ80 ($T \approx -5^\circ\text{C}$) и ПЭ100 ($T \approx -20^\circ\text{C}$).

Литература.

1. Carla F. Martins, Mohammad A. Irfan, Vikas Prakash. Dynamic fracture of linear medium density polyethylene under impact loading conditions/*Materials Science and Engineering A* 465 (2007) 211-222.
2. S.J.K. Ritchie, P. Davis and P.S. Leever. Brittle-tough transition of rapid crack propagation in polyethylene/ *Polymer*, Vol. 39, Number 25, 1998, pp. 6657-6663.