

## Влияние молекулярной массы на технологические и эксплуатационные свойства полисульфона марки ПСФ-190

### The effect of molecular weight on the technological and operational properties of PSF-190 polysulfone

О.Е. ПЕКСИМОВ, Т.И. АНДРЕЕВА, В.А. БАЛАБАНОВА, М.А. ПЕТРОВА

O.E. PEKSIMOV, T.I. ANDREEVA, V.A. BALABANOVA, M.A. PETROVA

АО «Институт пластмасс» им. Г.С. Петрова, Москва, Россия

JSC G.S. Petrov Institute of Plastics, Moscow, Russia

dir@instplast.ru

В работе проведено исследование влияния молекулярной массы (ММ) на технологические и эксплуатационные свойства полисульфона марки ПСФ-190, полученного в растворе диметилацетамида при отсутствии стадии блокировки концевых гидроксильных групп на опытно-промышленном производстве АО «Институт пластмасс». Проведена оценка зависимости показателя текучести расплава (ПТР) и характеристической вязкости от молекулярной массы полимера. Получены и проанализированы кривые течения и кривые термостабильности полисульфона ПСФ-190 с различной молекулярной массой. Определены максимальные температуры переработки полисульфона с различной молекулярной массой в изделия. Проведена оценка уровня деформационно-прочностных и теплофизических характеристик ПСФ-190. Даны рекомендации по методам переработки полисульфона в зависимости от его молекулярной массы.

**Ключевые слова:** полисульфон, молекулярно-массовое распределение, вязкость, термостабильность расплава полимера, кривые течения, переработка полисульфонов

The influence of molecular weight on the technological and operational properties of PSF-190 polysulfone obtained in a dimethylacetamide solution in the absence of a stage of blocking terminal hydroxyl groups at the pilot production facility of JSC Institute of Plastics has been studied. The dependence of the melt flow index and intrinsic viscosity on the molecular weight of the polymer was assessed. Flow curves and thermal stability curves of PSF-190 polysulfone with different molecular weights were obtained and analyzed. The maximum temperatures for processing polysulfone with different molecular weights into products have been determined. The level of stress-strain and thermophysical characteristics of PSF-190 was assessed. Recommendations on methods of polysulfone processing depending on its molecular weight are given.

**Keywords:** polysulfone, molecular weight distribution, viscosity, thermal stability of the polymer melt, flow curves, polysulfone processing

DOI: 10.35164/0554-2901-2025-01-12-16

#### Введение

Технологические свойства термопласта, влияющие на его поведение при переработке, определяются комплексом его реологических и теплофизических свойств [1–5].

С ростом молекулярной массы резко возрастает вязкость расплавов и одновременно расширяется температурный интервал высокоэластичного состояния. Известно, что показатель текучести расплава (ПТР) является одним из показателей, по которым определяют соответствие вязкости промышленных материалов установленным нормам по маркам [6] и который во многом определяет области рекомендуемых применений той или иной марки из марочного ассортимента конкретного полимера [7].

Полисульфон – конструкционный термостойкий полимер, сохраняющий работоспособность при длительной эксплуатации при температурах от минус 100 до плюс 150°C, огнестойкий, химически стойкий, радиационностойкий. Полисульфоны характеризуются малой ползучестью, малой усадкой 0,2–0,7% при формовании изделий из расплава, низким водопоглощением 0,2–0,4%, что обеспечивает высокую стабильность размеров изделий [8–10]. В последнее время выросло применение полисульфонов в таких областях промышленности, как аэрокосмическая, электротехническая, электронная, строительная, медицинская, пищевая.

В АО «Институт пластмасс» разработан технологический процесс синтеза полисульфона марки ПСФ-190, позволяющий ускорить и удешевить его производство. Главным отличием данного технологического процесса является проведение синтеза в растворе диметилацетамида и отсутствие стадии блокировки концевых гидроксильных групп [11, 12].

Цель данной работы заключалась в исследовании влияния молекулярной массы (ММ) на технологические и эксплуатационные свойства полисульфона марки ПСФ-190, полученного на опытно-промышленном производстве АО «Институт пластмасс». Для этого были изготовлены 7 партий полисульфона ПСФ-190 с различной ММ. Молекулярно-массовые характеристики изготовленных партий представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Молекулярно-массовые характеристики партий полисульфона ПСФ-190.

Марка полисульфона	Средневесовая молекулярная масса, $M_w$	Среднечисловая молекулярная масса, $M_n$	Полидисперсность, $P$
ПСФ-190	20500	9800	2,09
	34900	17000	2,05
	45640	21010	2,17
	60000	27640	2,17
	67220	31110	2,16
	75430	34050	2,21
	83110	38250	2,17

#### Методы исследования

Исследование молекулярно-массовых характеристик проводили методом гель-проникающей хроматографии при  $T = 23^\circ\text{C}$  на высокоэффективном хроматографе высокого давления фирмы Waters (США), оснащенный УФ-детектором с регистрацией при длине волны 264 нм, системой колонок Styragel HR 5E, HR 4E, 300×7,8 мм, инжектором Rheodyne с петлей 200 мкл. В качестве элюента использовали растворитель тетрагидрофуран, скорость потока 1 мл/мин.

Калибровку системы проводили по набору узкодисперсных полистирольных стандартов ( $M_w/M_n = 1,03$ ). Исследуемые образцы растворяли при комнатной температуре в течение двух часов. Объем вводимой пробы – 50 мкл.

Число вязкости раствора полисульфона определяли по ГОСТ 18249 при температуре  $25,0 \pm 0,1^\circ\text{C}$  на вискозиметре ВПЖ-2 (Россия) по ГОСТ 10028 (постоянная  $0,01 \text{ мм}^2/\text{с}^2$ , диаметр капилляра  $0,56 \text{ мм}$ ). В качестве растворителя использовали диметил-ацетамид чистый или химически чистый.

Определение показателя текучести расплава проводили по ГОСТ 11645 при температуре  $340^\circ\text{C}$  (нагрузка  $2,16 \text{ кг}$ , диаметр капилляра  $2,095 \text{ мм}$ , длина капилляра  $8 \text{ мм}$ ) с использованием экструзионного пластометра CEAST MELT FLOW QUICK INDEX (Италия). Для испытания применяли образцы в виде гранул. Перед испытанием гранулы материала сушили в вакуумном шкафу Binder (Германия) в течение 3–3,5 часов при температуре  $125 \pm 5^\circ\text{C}$  до содержания влаги не более  $0,02\%$ . Остаточное содержание влаги в материале контролировали анализатором влажности Sartorius MA-100 (Sartorius, Германия).

Кривые течения определяли на капиллярном реометре Rosand RH-10 фирмы Malvern (Англия) с капилляром длиной  $8 \text{ мм}$  и диаметром  $1 \text{ мм}$  при температуре  $325^\circ\text{C}$ . Время прогрева образца перед испытанием составляло 15 минут. В процессе прогрева проводили подпрессовку материала до давления  $2,0 \text{ МПа}$  для полного удаления воздуха. Гранулы предварительно сушили при температуре  $150^\circ\text{C}$  в вакуумном шкафу Binder (Германия) в течение пяти часов до содержания влаги не более  $0,02\%$ . Остаточное содержание влаги в материале определяли анализатором влажности Sartorius MA-100.

Температуру стеклования полисульфонов определяли методом дифференциально-сканирующей калориметрии. Испытание проводили по ГОСТ Р 55135–2012 на приборе DSC 8500 PerkinElmer (США) в атмосфере азота (скорость потока газа  $20 \text{ мл/мин}$ ) при скорости подъема температуры  $20^\circ\text{C/мин}$  с использованием тиглей из алюминия. Навеска образца составляла  $8\text{--}10 \text{ г}$ .

Определение температуры начала деструкции проводили по ISO 11358 на термогравиметрическом анализаторе STA6000 (PerkinElmer, США) при скорости подъема температуры  $5^\circ\text{C/мин}$  с продувкой печи воздухом. Скорость потока составляла  $50 \text{ мл/мин}$ .

Термостабильность расплавов ПСФ-190 изучали на экструзионном пластометре CEAST MELT FLOW QUICK INDEX (Италия) по методике работы [13]. За время термостабильности принимали время, соответствующее изменению массы экструдата на  $10\%$ .

Температуру размягчения по Вика определяли по ГОСТ 15088 метод В50 (ISO 306) на приборе для определения теплостойкости пластмасс Zwick/Roell HDT/Vicat S (Германия).

Температуру изгиба под нагрузкой определяли по ГОСТ 12021 (режим А) на приборе для определения теплостойкости пластмасс Zwick/Roell HDT/Vicat S (Германия). Испытание проводили на образце в форме бруска размером  $(120 \times 10 \times 4) \text{ мм}$ , установленном в положении «на ребре».

Определение деформационно-прочностных характеристик при растяжении проводили по ГОСТ 11262 на универсальной испытательной машине Zwick/Roell Z020 (Германия), образец тип 1А, скорость перемещения подвижного захвата  $50 \text{ мм/мин}$  ( $1 \text{ мм/мин}$  – при определении показателя «модуль упругости при растяжении»).

#### Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлены зависимости значений ПТР образцов полисульфона ПСФ-190 от характеристической вязкости (кривая 1) и средневесовой молекулярной массы (кривая 2). На рис. 2 представлена зависимость характеристической вязкости от средневесовой молекулярной массы образцов. Как видно из представленных данных, увеличение средневесовой молекулярной массы ПСФ-190 в 4 раза приводит к росту характеристической вязкости от  $0,20$  до  $0,60 \text{ дл/г}$  и резкому уменьшению ПТР со  $156$  до  $2,2 \text{ г/10 мин}$ .

Наиболее заметное уменьшение значений ПТР (около 12 раз) происходит с увеличением средневесовой молекулярной массы ПСФ-190 от  $20500$  до  $45600$ . Дальнейший рост молекулярной массы до  $83000$  не оказывает существенного влияния на значения ПТР.

Значительное уменьшение ПТР от  $156 \text{ г/10 мин}$  до  $13,2 \text{ г/10 мин}$  наблюдается при росте характеристической вязкости с  $0,20 \text{ дл/г}$  до

$0,42 \text{ дл/г}$ . ПТР изменяется от  $2,2$  до  $13,2 \text{ г/10 мин}$  при величине характеристической вязкости  $0,42\text{--}0,60 \text{ дл/г}$ .

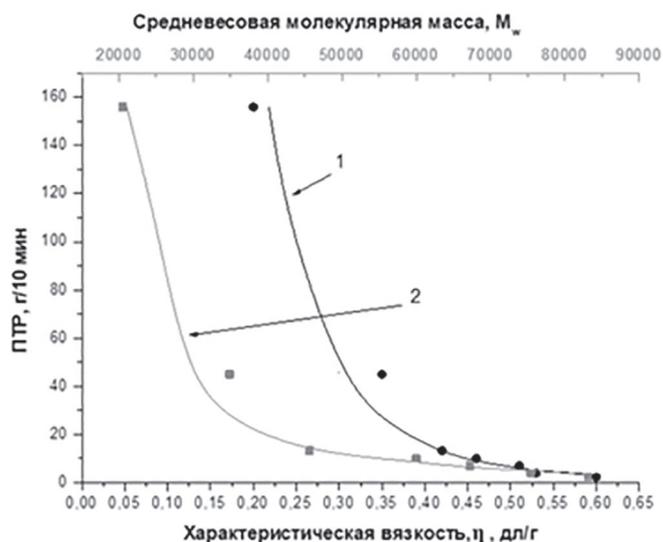


Рис. 1. Зависимость показателя текучести расплава от характеристической вязкости (кривая 1) и средневесовой молекулярной массы (кривая 2) ПСФ-190.

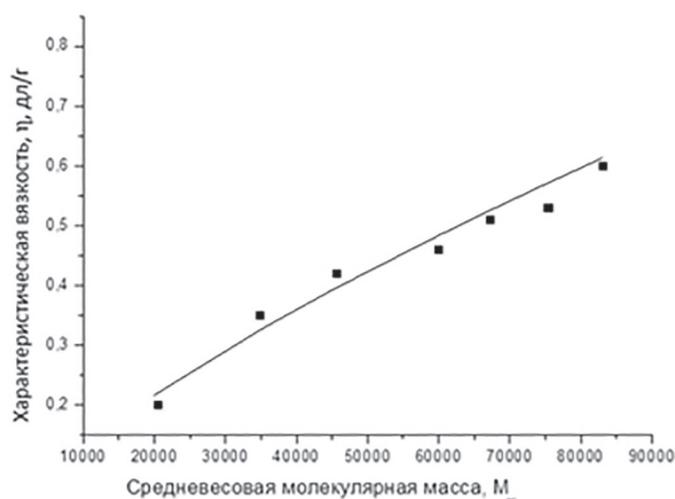


Рис. 2. Зависимость характеристической вязкости от средневесовой молекулярной массы ПСФ-190.

Полученные зависимости (рис. 1, 2) хорошо описываются степенной функцией и следующими уравнениями:

$$\text{ПТР} = 0,441 \cdot \eta^{-3,85} \quad (1)$$

$$\text{ПТР} = 5 \cdot 10^{14} \cdot M_w^{-2,89} \quad (2)$$

$$\eta = 0,00016 \cdot M_w^{0,7285} \quad (3)$$

Реологические свойства расплавов полимеров имеют важнейшее значение, так как они определяют технологию, конструктивное оформление процесса переработки полимеров и свойства получаемых изделий. Наиболее полно реологические свойства расплавов полимеров при любой температуре могут быть представлены кривой течения, характеризующей зависимость между напряжением сдвига и скоростью сдвига.

Для процессов переработки полимеров разными методами характерны различные скоростные интервалы скоростей сдвига [6]. Так, ротационное формование, пропитка угле- и стеклотканей, а также прессование характеризуются небольшими скоростями сдвига – до  $100 \text{ с}^{-1}$ ; изготовление изделий методом экструзии – до  $1000 \text{ с}^{-1}$  [14]. Наибольшие скорости реализуются при изготовлении изделий методом литья под давлением –  $10000\text{--}15000 \text{ с}^{-1}$ .

На рис. 3 представлены кривые течения партий полисульфона ПСФ-190 с различной средневесовой молекулярной массой, полученные при температуре их переработки –  $325^\circ\text{C}$ .

Как видно из рис. 3, при повышении скорости сдвига вязкость расплава образцов снижается, т.е. полисульфон представляет собой псевдопластичную жидкость [6, 15, 16]. При высоких скоростях сдвига (в районе  $12000\text{--}20000 \text{ с}^{-1}$ ) эффективная вязкость

мало зависит от  $M_w$ , тогда как при низких скоростях сдвига (до  $1000 \text{ c}^{-1}$ ) эффективная вязкость изменяется в 10 раз при изменении средневесовой молекулярной массы с 20500 до 83100. Стоит отметить, что, чем выше  $M_w$  полимера, тем зависимость вязкости расплава полимера от скорости сдвига более выражена. Так, для ПСФ-190 с низким значением молекулярной массы ( $M_w = 20500$ ) эффективная вязкость изменяется всего в 5 раз при изменении скорости сдвига с 200 до  $20000 \text{ c}^{-1}$ , а для ПСФ-190 с молекулярной массой  $M_w = 83100$  при таком же изменении скорости сдвига эффективная вязкость возрастает в 21 раз.

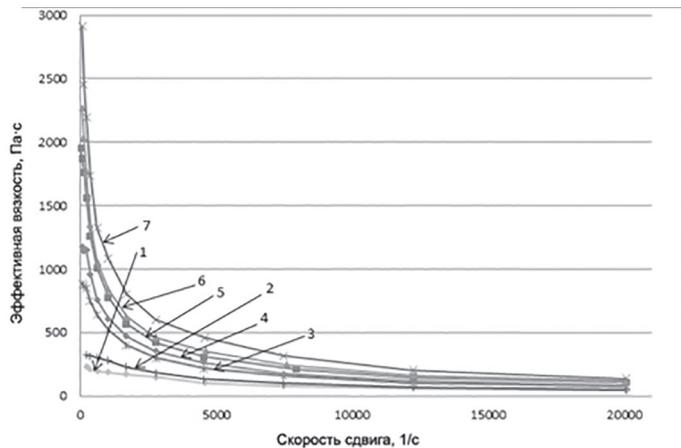


Рис. 3. Кривые течения ПСФ-190 с различной  $M_w$ , полученные при температуре  $325^\circ\text{C}$ : 1 – 20500; 2 – 34900; 3 – 45600; 4 – 60000; 5 – 67200; 6 – 75400; 7 – 83100.

Зависимости вязкости расплава образцов полисульфона ПСФ-190 с различной ММ от температуры при скорости сдвига  $1000 \text{ c}^{-1}$  и скорости сдвига  $10000 \text{ c}^{-1}$  представлены на рис. 4 и 5, соответственно.

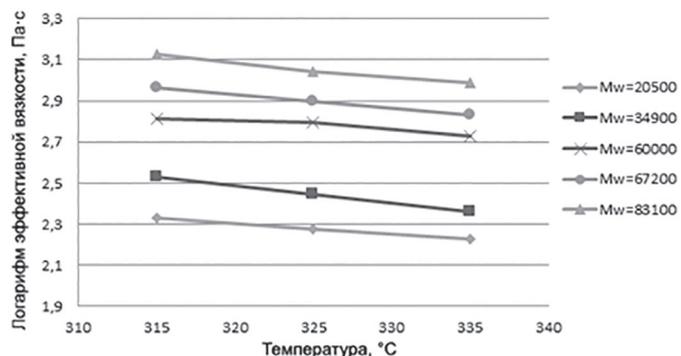


Рис. 4. Влияние температуры на эффективную вязкость расплава образцов полисульфона ПСФ-190 различной молекулярной массы (скорость сдвига  $1000 \text{ c}^{-1}$ ).

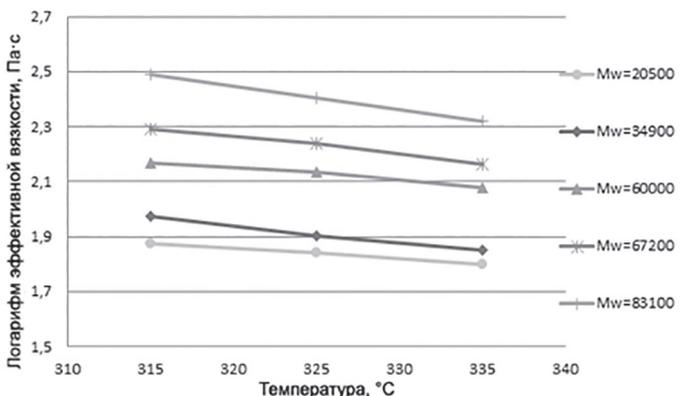


Рис. 5. Влияние температуры на эффективную вязкость расплава образцов полисульфона ПСФ-190 с различной молекулярной массой (скорость сдвига  $10000 \text{ c}^{-1}$ ).

Как видно из полученных данных, с увеличением температуры от  $315$  до  $335^\circ\text{C}$  вязкость расплава полисульфона ПСФ-190 снижается. При этом зависимость вязкости расплава полисульфона от температуры тем интенсивнее, чем выше ММ полимера.

Изучение реологических свойств полисульфона ПСФ-190 показало, что в исследованном диапазоне ММ вязкость расплава полимера зависит как от скорости сдвига, так и от температуры. Таким образом, расплав полимера ведет себя как классическая ньютоновская жидкость [6, 7, 17, 18].

Технологические параметры переработки зависят от ММ, определяющей вязкость используемого полисульфона.

На рис. 6 и 7 приведены зависимости температуры стеклования и температуры начала деструкции от средневесовой молекулярной массы образцов ПСФ-190. С ростом молекулярной массы полисульфона ПСФ-190 возрастают температура стеклования  $T_{ст}$  и температура начала деструкции  $T_{н.д.}$ . При этом  $T_{ст}$  выходит на плато при достижении значений  $M_w$  34900, а  $T_{н.д.}$  «запределивается» при значениях  $M_w$  45600.

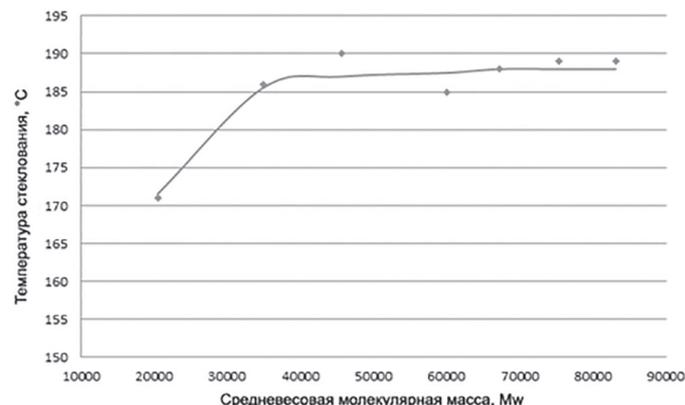


Рис. 6. Зависимость температуры стеклования (ДСК) ПСФ-190 от средневесовой молекулярной массы.

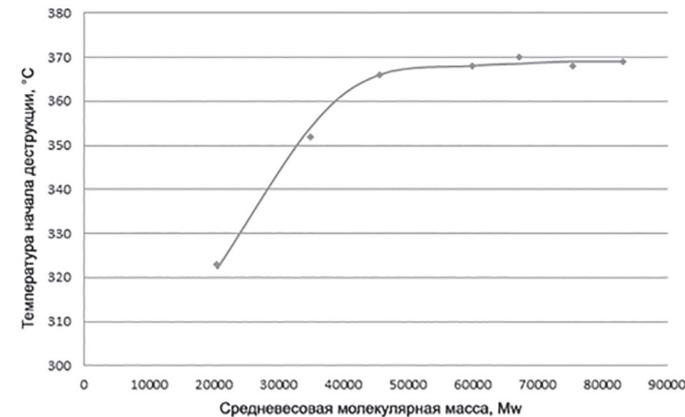


Рис. 7. Зависимость температуры начала деструкции (ТГА) ПСФ-190 от средневесовой молекулярной массы.

Одной из важнейших характеристик, влияющих на переработку полимеров, является термостабильность их расплавов. Время термостабильности расплава полимера при заданной температуре, определяемое как время, при котором изменение массы экструдата составляет 10%, позволило выбрать температурные интервалы переработки полисульфона ПСФ-190 с различной ММ в изделия без его термической деструкции. На рис. 8 представлены кривые термостабильности расплава ПСФ-190 с различной молекулярной массой в широком интервале температур переработки.

Известно, что для термопластов, перерабатываемых методом литья под давлением, для получения изделий с высокими эксплуатационными характеристиками минимальное время термостабильности должно составлять не менее 10 минут [19]. Представленные на рис. 8 данные позволяют сделать вывод, что для полисульфона ПСФ-190 со средневесовой молекулярной массой от 45600 до 83100 максимальная температура переработки не должна превышать  $320\text{--}325^\circ\text{C}$ , а термостабильность расплава описывается следующей зависимостью:

$$\tau_c = (4 \cdot 10^8) \cdot e^{-0,052T} \quad (4)$$

Для ПСФ-190 с  $MM_w = 20500$  и  $MM_w = 34900$  максимальная температура переработки не должна превышать  $295^\circ\text{C}$  и  $305^\circ\text{C}$ , соответственно. Термостабильность описывается следующими зависимостями:

Таблица 2. Деформационно-прочностные и теплофизические показатели полисульфона ПСФ-190.

Наименование партии	Температура стеклования (ДСК), °С	Температура размягчения по Вика, °С	Температура изгиба под нагрузкой, °С	Предел текучести при растяжении, Па	Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Модуль упругости при растяжении, МПа
ПСФ-190 (MM <sub>w</sub> = 20500; η = 0,20 дл/г)	171±1	163±1	147±1	–	44,3 (44,0–46,1)	6,1 (5,0–7,9)	2410±20
ПСФ-190 (MM <sub>w</sub> = 34900; η = 0,35 дл/г)	186±1	178±1	161±1	74,6 (74,4–74,8)	50,0 (49,5–50,4)	110 (100–120)	2570±40
ПСФ-190 (MM <sub>w</sub> = 45600; η = 0,42 дл/г)	190±1	182±1	164±1	76,1 (75,9–76,4)	52,5 (50,4–58,5)	110 (110–120)	2660±30
ПСФ-190 (MM <sub>w</sub> = 60000; η = 0,46 дл/г)	185±1	180±1	163±1	76,8 (76,3–77,0)	54,6 (51,6–58,9)	120 (110–130)	2640±20
ПСФ-190 (MM <sub>w</sub> = 67200; η = 0,51 дл/г)	188±1	182±1	165±1	76,0 (75,8–76,1)	55,5 (52,5–63,0)	110 (100–120)	2610±40
ПСФ-190 (MM <sub>w</sub> = 75400; η = 0,53 дл/г)	189±1	184±1	167±1	73,8 (73,6–74,0)	52,2 (49,7–54,6)	110 (96–120)	2570±20
ПСФ-190 (MM <sub>w</sub> = 83100; η = 0,60 дл/г)	189±1	184±1	167±1	79,0 (77,5–80,1)	58,9 (54,0–61,1)	49 (43–63)	2700±50

для ПСФ-190 с MM<sub>w</sub> = 20500:

$$\tau_c = (3 \cdot 10^8) \cdot e^{-0.059T}, \quad (5)$$

а для ПСФ-190 с MM<sub>w</sub> = 34900:

$$\tau_c = (7 \cdot 10^8) \cdot e^{-0.06T} \quad (6)$$

Для выбранных образцов полисульфона с различной молекулярной массой были определены основные деформационно-прочностные и теплофизические показатели. Результаты представлены в таблице 2.

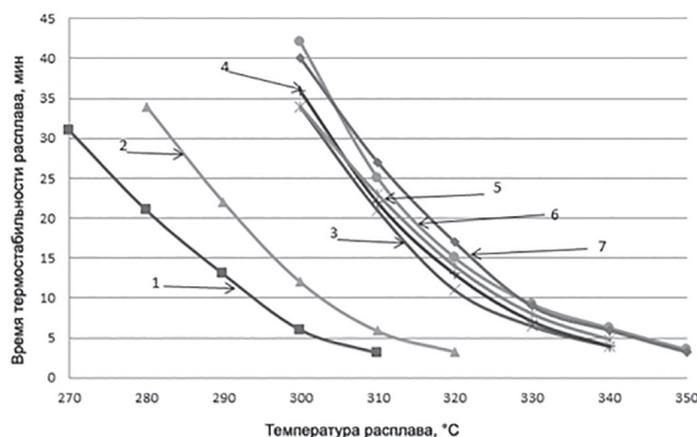


Рис. 8. Кривые термостабильности расплавов образцов полисульфона ПСФ-190 с различной средневесовой молекулярной массой: 1 – 20500; 2 – 34900; 3 – 45600; 4 – 60000; 5 – 67200; 6 – 75400; 7 – 83100.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что в диапазоне средневесовой молекулярной массы от 35000 до 83000 полисульфон характеризуется стабильными высокими деформационно-прочностными характеристиками и близкими значениями теплофизических характеристик. Деформационно-прочностные характеристики образца полисульфона ПСФ-190 с MM<sub>w</sub> 20500 существенно ниже, у материала отсутствует предел вынужденной эластичности – образец проявляет хрупкое разрушение и меньшую теплостойкость, ниже на 15–20°С по сравнению с более высокомолекулярными образцами полисульфона.

#### Заключение

В данной работе были выявлены количественные зависимости ПТР, характеристической вязкости от средневесовой молекулярной массы и ПТР от характеристической вязкости полисульфона ПСФ-190. Показано, что данные зависимости описываются степенными функциями [1–3].

Анализ кривых термостабильности показал, что для полисульфона ПСФ-190 со средневесовой молекулярной массой в диапазоне от 45000 до 83000 максимальная температура переработки в изделии не должна превышать 320–325°С.

В результате исследований было показано, что в диапазоне средневесовой молекулярной массы от 35000 до 83000 полисульфон характеризуется стабильными высокими деформационно-прочностными характеристиками и близкими значениями теплофизических характеристик.

Таким образом, проведенные исследования позволили охарактеризовать технологические и эксплуатационные свойства марочного ассортимента полисульфона ПСФ-190, включающего волоконные, литьевые и экструзионные марки, которые можно перерабатывать методом литья под давлением (MM<sub>w</sub> от 45000 до 67000; ПТР 7,1 – 13,2 г/10 мин), методом экструзии (MM<sub>w</sub> от 75000 до 83000; ПТР 2,2–4,0 г/10 мин), методом литья под давлением для производства волокон и тонкостенных изделий (MM<sub>w</sub> 34900; ПТР – 45 г/10 мин). ПСФ-190 со средневесовой молекулярной массой 20500 приближается по свойствам к олигомерам (ПТР 156 г/10 мин) и к применению не рекомендован.

#### Литература

1. Лапшин В.В. Основы переработки термопластов литьем под давлением. М.: Химия. 1974. С. 27–28.
2. Фетисова Т.С. Проектирование литьевых форм для изготовления литьевых изделий: Учебное пособие. Тольятти: Издательство Тольяттинский государственный университет. 2013. 102 с.
3. Polychronopoulos, N.D., Vlachopoulos J. Polymer Processing and Rheology. In: Jafar Mazumder, M., Sheardown, H., Al-Ahmed, A. (eds). Functional Polymers. Polymers and Polymeric Composites: A Reference Series. Springer, Cham. P. 1–47. DOI:10.1007/978-3-319-92067-2\_4-1.
4. B.R. Gupta. Rheology Applied in Polymer Processing. – London, CRC Press, 2022. 462 p. DOI:10.1201/9781003344971.
5. Власов С.В., Кандырин Л.Б., Кулезнев В.Н. Основы технологии переработки пластмасс: учебник для вузов. М.: Мир. 2006. 600 с.
6. Калинин Э.Л., Саковцева М.Б. Свойства и переработка термопластов: Справочное пособие. Л.: Химия. 1983. 288 с.
7. Виноградов Г.В., Малкин А.А. Реология полимеров. М.: Химия. 1977. 438 с.
8. Михайлин Ю.А. Термоустойчивые полимеры и полимерные материалы. СПб.: Профессия. 2006. 480 с.
9. Шленский О.Ф., Минакова Н.В., Аристов В.М., Зеленев Ю.В., Быков Г.П. Структура и свойства ароматических полисульфонов // Материаловедение. 1999. №6. С. 15–20.

10. Альперн В.Д., Каграманов З.Г. Сульфоновые полимеры фирмы SOLVAY. Свойства и применение // Пластические массы. 2006. №11. С. 3–6.
11. Пексимов О.Е., Андреева Т.И., Балабанова В.А., Казаков С.И., Динзбург И.Л., Молоткова Н.Н. Влияние термоокислительного старения на структуру и свойства полисульфона и прогнозирование его срока эксплуатации // Пластические массы. 2021. №11–12. С. 7–11. <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2021-11-12-7-11>.
12. Болотина Л.М., Чеботарев В.П. Развитие исследований в области химии и технологии ароматических полисульфонов // Пластические массы. 2003. №11. С. 3–7.
13. Симонов-Емельянов И.Д., Шембель Н.Л. и др. Методы определения технологических свойств наполнителей и полимерных материалов. М.: МИРЭА – Российский технологический университет. 2014. 75 с.
14. Гуреньков В.М., Горшков В.О., Чеботарев В.П., Прудскова Т.Н., Андреева Т.И. Полиэфирэфиркетон. Свойства, применение, производство. Полимерные композиционные материалы и производственные технологии нового поколения: материалы IV Всероссийской научно-технической конференции [Электронный ресурс] / ФГУП «ВИАМ». М.: ВИАМ. 2019. С. 51–65.
15. Хан Ч.Д. Реология в процессах переработки полимеров: пер. с англ. / под ред. Г.В. Виноградова, М.Л. Фридмана. М.: Химия. 1979. 368 с.
16. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия, 1984. 628 с.
17. Малкин А.Я., Исаев А.И. Реология: концепции, методы, приложения. СПб: Профессия. 2017. 560 с.
18. Трилор Л. Введение в науку о полимерах / Пер. с англ. д-ра хим. наук Н.А. Платэ. М.: Мир. 1973. 238 с.
19. Баранов А.Б., Симонов-Емельянов И.Д., Андреева Т.И., Прудскова Т.Н., Сазиков В.И. Исследование реологических свойств и термостабильности полиарилсульфонсульфидов отечественных марок // Пластические массы. 2016. №1–2. С. 7–9.