

УДК 541.64:539.2

ФОРМИРОВАНИЕ МЕЖЗЕРЕННЫХ СВЯЗЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПРИ КОМПАКТИРОВАНИИ РЕАКТОРНЫХ ПОРОШКОВ СВЕРХВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНОГО ПОЛИЭТИЛЕНА

© 2008 г. Е. А. Синевич, В. А. Аулов, Н. Ф. Бакеев

Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук
117393 Москва, Профсоюзная ул., 70

Поступила в редакцию 11.04.2007 г.
Принята в печать 08.11.2007 г.

Сопоставлены результаты механических испытаний компактированного реакторного порошка сверхвысокомолекулярного ПЭ на воздухе и в адсорбционно-активных жидкых средах, резко снижающих межфазную поверхностную энергию. Интергранулярный характер хрупкого разрушения образцов на воздухе и в декане позволил оценить вклад когезионных межзеренных связей в общую прочность (~75%). Показано, что образование межзеренных связей существенно зависит от интенсивности молекулярной подвижности в полимере. Установлено, что прочность компактированного материала во многом определяется процессами деформации граничных слоев контактирующих зерен. Формирование межзеренных слоев может сопровождаться столь глубокой перестройкой нативного материала, что при компактировании различных реакторных порошков с отличающимися физико-механическими свойствами структура межзеренных слоев оказывается примерно одинаковой.

ВВЕДЕНИЕ

Специфические свойства сверхвысокомолекулярного ПЭ позволяют использовать этот материал там, где требуются повышенные по сравнению с обычным ПЭ физико-механические свойства, морозостойкость, низкий коэффициент трения, химическая устойчивость. Выше температуры плавления сверхвысокомолекулярный ПЭ переходит лишь в высокоэластичное, а не вязкотекучее состояние [1], поэтому переработка сверхвысокомолекулярного ПЭ в изделия традиционными способами затруднена. Однако твердофазное формование реакторных порошков (РП) сверхвысокомолекулярного ПЭ может давать ориентированные материалы с прочностью 6 ГПа и модулем 220 ГПа [2], а разработка методов направленного синтеза РП сверхвысокомолекулярного ПЭ с различной надмолекулярной структурой [3, 4] повышает интерес к изучению факторов, определяющих возможность получения таких уникальных сверхвысокопрочных материалов на практике.

E-mail: sinevich@ispmt.ru (Синевич Евгений Анатольевич).

Переработка РП непосредственно в высокопрочные нити и волокна (без предварительного плавления и(или) растворения) понижает энергоемкость процессов и улучшает их экологичность, но требует сохранения нативной структуры зерен РП вплоть финальной стадии ориентационной вытяжки. Однако для такой вытяжки необходимо формирование взаимосвязанной системы кристаллических и аморфных областей в РП, что неизбежно связано хотя бы с частичным разрушением и перестройкой нативной структуры. Таким образом, возникает классическая задача на оптимизацию: нужно оптимизировать количество межзеренных связей. Очевидно, что информация о типе и количестве связей между зернами, обеспечивающих создание высокопрочных финальных продуктов, имеет первостепенное значение как для оптимизации технологических процессов, так и для развития теоретических моделей твердофазного формования.

Уникальная информация такого рода может быть получена при комплексном анализе результатов вытяжки компактированного (не полностью монолитизированного) РП на воздухе и в адсорбционно-активных жидких средах [5]. Этот

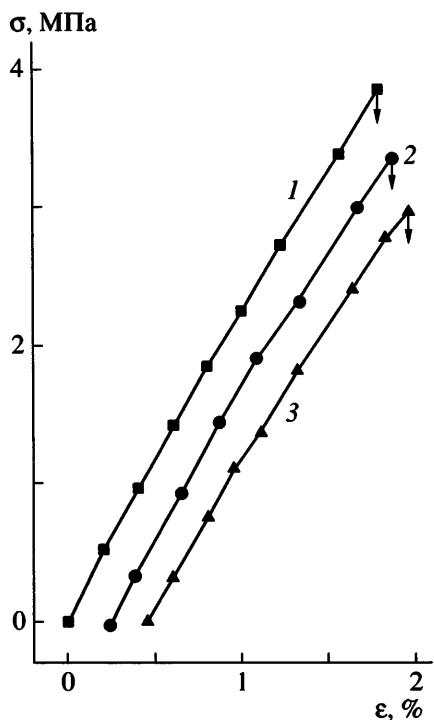


Рис. 1. Кривые напряжение–деформация компактированных образцов ($T_c = 110^\circ\text{C}$, $p_c = 100 \text{ МПа}$) для вытяжки на воздухе (1), в пропаноле (2) и в декане (3).

метод мы использовали и в настоящей работе, целью которой являлось изучение процесса формирования межзеренных связей различных типов при компактировании РП.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Использовали РП сверхвысокомолекулярного ПЭ со средним размером зерен 80 мкм, насыпным весом $0.485 \pm 0.005 \text{ г}/\text{см}^3$ и характеристической вязкостью $[\eta] = 15.3$ в декалине. Оценка M_w по уравнению Марка–Куна–Хаувинка $M = K[\eta]^\alpha$ с константами, взятыми из работы [1], дала значение $\sim 3.1 \times 10^6$. Таблетки толщиной 0.8–1 мм и диаметром около 25 мм получали прессованием (компактированием) РП в цилиндрической пресс-форме при давлении $p_c \sim 100 \text{ МПа}$ и температуре компактирования $T_c = 20\text{--}140^\circ\text{C}$ в течение заданного времени t_c (обычно 30 мин). Для стабилизации температуры пресс-форму с порошком предварительно разогревали до заданной T_c , выдерживали при ней 5–8 мин, и лишь потом повышали давление. Если в процессе компактирования давление понижалось, его вновь поднимали до задан-

ного уровня. Температуру поддерживали с точностью $\pm 1.5^\circ$.

Следует отметить, что получать тонкие однородные таблетки из нашего среднедисперсного РП оказалось непростой задачей. Неравномерность высоты слоя РП, которую трудно было заметить при загрузке в пресс-форму навески небольшого объема ($\sim 0.35 \text{ г}$), могла существенно влиять на относительную толщину этого слоя. Соответственно изменялась и плотность участков таблетки, а это сказывалось на механических свойствах образцов.

Из таблеток вырубали образцы в виде двусторонних лопаток с рабочей частью $\sim 2 \times 5 \text{ мм}$. Их растягивали на воздухе, в *n*-пропаноле и в *n*-декане со скоростью 5 мм/мин на испытательной машине “Instron” при комнатной температуре. Время контакта с жидким средой до начала растяжения составляло 10–15 с. Результаты усредняли по данным 2–10 испытаний.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При низких температурах компактирования ($T_c < 100^\circ\text{C}$) образцы имели малую прочность и часто разрушались уже во время закрепления в пневмозажимах испытательной машины. Повышение T_c увеличивало прочность образцов как на воздухе, так и в жидких средах. При этом декан снижал прочность сильнее, чем пропанол (рис. 1, 2). Но во всех случаях величины разрывного напряжения σ_b были примерно на порядок ниже, чем у сплошного полимера [1], кривые напряжение–деформация имели вид, характерный для хрупкого разрушения, а деформации при разрыве ϵ_b не превышали нескольких процентов (рис. 3а).

Известно [6], что границы зерен в поликристаллических твердых телах обладают избыточной свободной энергией и могут стать путями преимущественного развития трещин разрушения даже в отсутствие влияния среды. Кроме того, повышенная дефектность структуры межзеренных границ облегчает проникновение адсорбционно-активных сред вглубь именно по этим областям. Сопутствующее понижение межфазной поверхностной энергии делает предпочтительным интеркристаллитное разрушение поликристаллических материалов, вплоть до полного распада системы по границам зерен.

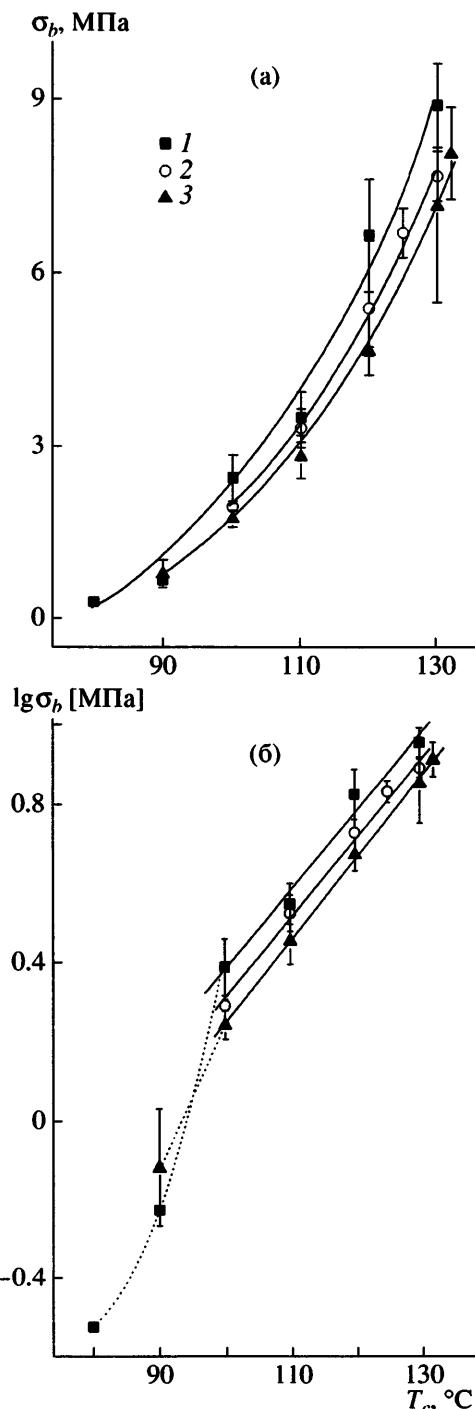


Рис. 2. Зависимость прочности σ_b образцов на воздухе (1), в пропаноле (2) и в декане (3) от температуры компактирования при $p_c = 100$ МПа в обычных (а) и полулогарифмических (б) координатах. (Прямоугольные участки на рис. 2б проведены методом наименьших квадратов.)

В отличие от низкомолекулярных соединений хрупкое разрушение полимеров неизбежно связано с разрывом ковалентных связей в макромолекулах и с пластической деформацией в области разрушения. Хотя работа образования новых по-

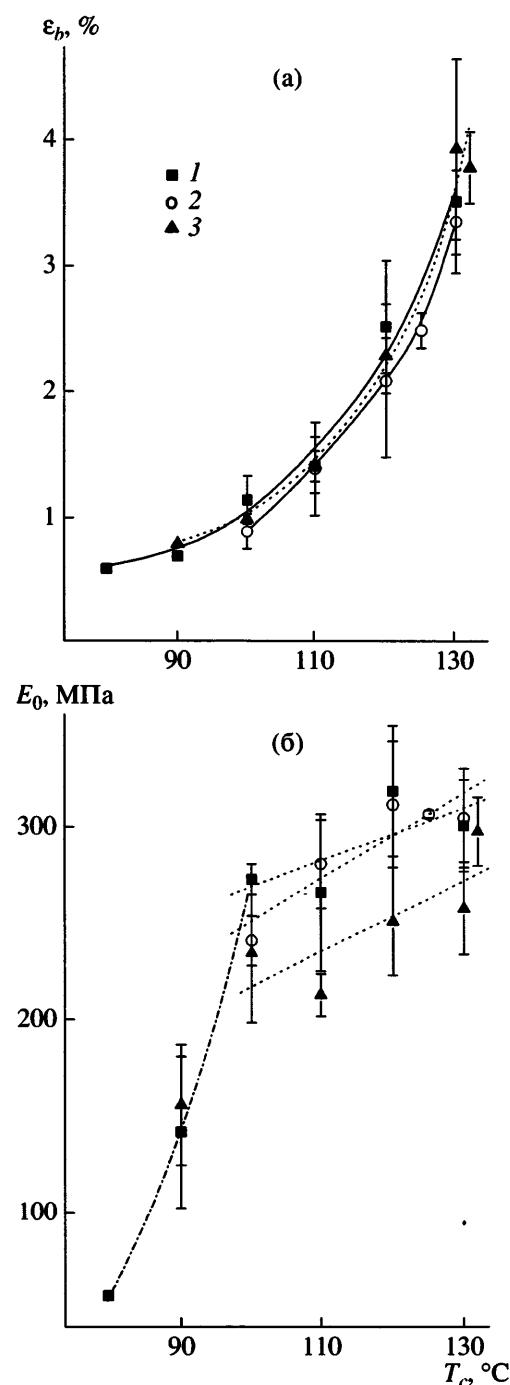


Рис. 3. Зависимость разрывной деформации ε_b (а) и модуля упругости (б) образцов на воздухе (1), в пропаноле (2) и в декане (3) от температуры компактирования при $p_c = 100$ МПа.

верхностей изменяется симбатно поверхностной энергии материала, в сплошном полимере эти величины могут отличаться на несколько десятичных порядков [6, 7]. Однако в наших компактированных образцах отдельные зерна связаны друг с

другом лишь ограниченным числом макромолекулярных цепей. Поэтому при "интергранулярном" разрушении хрупких образцов на воздухе и в адсорбционно-активных средах, сильно ослабляющих адгезионные (ван-дер-ваальсовы) связи на межзеренных границах, можно оценить вклад когезионных межзеренных связей в общую прочность [5]. Характерный рельеф поверхности разрыва наших образцов давал основания полагать, что разрушение действительно проходит в основном по границам зерен. На это же указывают и результаты вытяжки образцов, компактированных при разных T_c .

Обнаружено, что в полулогарифмических координатах на графиках зависимости прочности σ_b от T_c выделяется четко выраженный излом (рис. 2б). На графиках, построенных в обычных координатах (рис. 2а), такой излом практически нельзя заметить, поскольку он маскируется разбросом экспериментальных данных. Использование специфических координат позволило выявить и другую важную особенность. На рис. 2б имеется температурная область, где зависимости σ_b-T_c хорошо аппроксимируются прямыми линиями как для вытяжки на воздухе, так и в жидкых средах. При этом прямые, полученные методом наименьших квадратов, располагаются практически параллельно друг другу. Это показывает, что исходный материал, сквозь который прорастают трещины разрушения при деформации на воздухе, в пропаноле и в декане, в каждом из этих трех случаев имеет одинаковые свойства, аналогичным образом изменяющиеся при варьировании T_c . Другими словами, на воздухе разрушение происходит по тем же участкам образца, что и в жидкой среде, т.е. по границам зерен. Значит, разница прочности на воздухе и в декане, резко ослабляющем разрыв и перестройку адгезионных связей, действительно определяется количеством когезионных межзеренных связей.

Линейность графиков на рис. 2б означает, что в данных условиях образование межзеренных связей контролируется термически активируемым процессом (скорость которого экспоненциально зависит от T_c) и притом только одним. Этот процесс происходит в области выше 100°C, т.е. выше температуры α -релаксационного перехода, который связывают с размораживанием молекуллярной подвижности в кристаллической фазе ПЭ или в той части аморфной компоненты, подвиж-

ность которой ограничена окружающими кристаллитами [8–13]. Впрочем, размораживание подвижности в "запертой" аморфной фазе можно рассматривать как следствие процессов в кристаллических областях. Но в любом случае наши данные показывают, что образование межзеренных связей существенно зависит от интенсивности молекулярной подвижности в полимере. Поэтому варьированием факторов, изменяющих эту подвижность (температура, давление, структура полимера и т.д.), можно регулировать параметры сетки межзеренных связей.

При вытяжке на воздухе оказалось, что выше 100°C температура компактирования не оказывает большого влияния на модуль упругости E_0 материала (рис. 3б). При более низких T_c значения E_0 довольно резко поникаются, что указывает на значительное уменьшение количества межзеренных связей. Последнее может быть следствием уменьшения площади плотных контактов, которые сохраняются между зернами в компактированном материале после снятия нагрузки.

При вытяжке в пропаноле начальные модули образцов оставались такими же, как на воздухе, но декан слегка (на 15–20%) понижал значения E_0 . Вероятно, и в этом случае играет роль остаточная пористость компактированного материала. Декан, лучше смачивающий ПЭ, за время контакта с образцом перед вытяжкой (10–15 с) успевает проникнуть вглубь по дефектным местам и в какой-то степени пластифицировать полимер. Однако это практически не влияет на развитие трещин разрушения, так как деформация при разрыве не увеличивается (рис. 3а).

Анализ прочностных зависимостей показал, что эффективность действия жидких сред падает при повышении T_c (рис. 4), т.е. соответственно уменьшается вклад физических (ван-дер-ваальсовых) связей в общую прочность материала. Она все в большей степени определяется когезионными связями, на которые жидкие среды непосредственного влияния не оказывают. Сопоставление прочности образцов на воздухе и в декане позволяет дать количественную оценку: вклад когезионных связей в прочность наших материалов, компактированных в интервале между T_α и температурой плавления T_m , составляет 75–80%. Таким образом, прочность нашего компактирован-

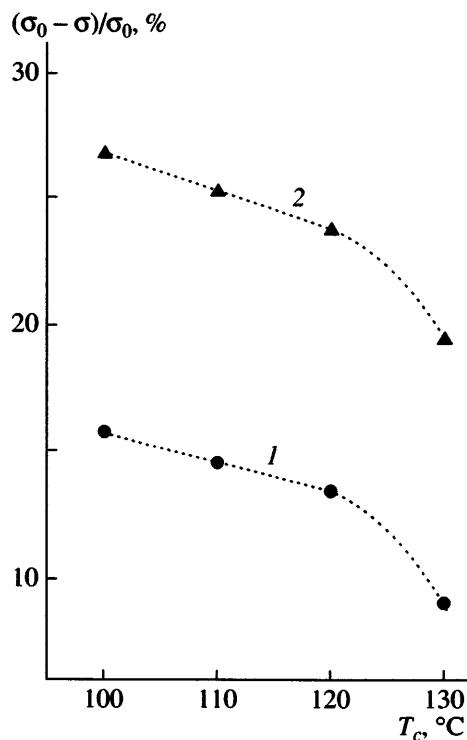


Рис. 4. Относительное снижение прочности образцов в пропаноле (1) и в декане (2).

ногого материала определяется в основном когезионными межзеренными связями.

Но как быстро формируются эти когезионные связи? В специальной серии экспериментов пресс-форму с навеской РП ускоренно (за 3–5 мин) разогревали до $T_c = 110^\circ\text{C}$, быстро поднимали давление до 100 МПа, выдерживали заданное время в этих условиях, а затем быстро сбрасывали давление и извлекали таблетку из пресс-формы. Растворение таких образцов показало, что изменение времени компактирования t_c от 1 до 30 мин практически не влияет на прочность образцов ни на воздухе, ни в декане (рис. 5). Это хорошо согласуется с данными о компактировании РП сверхвысокомолекулярного ПЭ при комнатной температуре [14].

Параллельно была определена плотность ρ этих компактированных таблеток по их геометрическим размерам и массе. Было установлено, что время компактирования практически не влияет и на плотность такого материала. Аналогичная форма графиков (сплошные линии, соединяющие экспериментальные точки на рис. 6) наглядно демонстрировала существование корреляции между

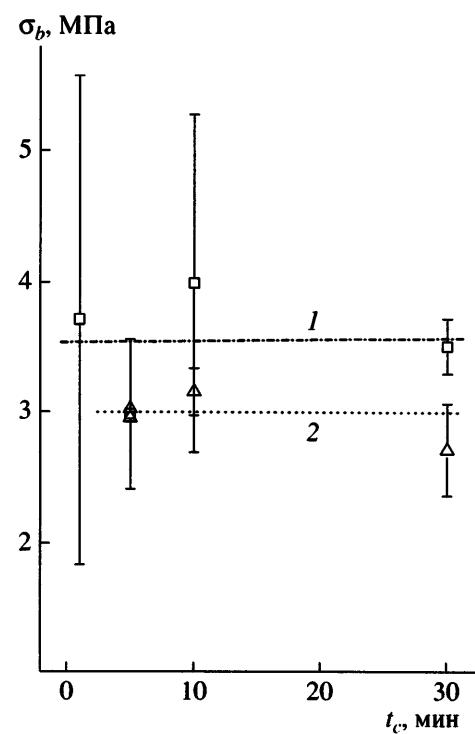


Рис. 5. Влияние времени компактирования t_c при $p_c = 100 \text{ МПа}$ и $T_c = 110^\circ\text{C}$ на прочность образцов на воздухе (1) и в декане (2).

изменениями плотности таблеток и прочностью вырубленных из них образцов. По-видимому, такая корреляция обусловлена случайными нарушениями условий компактирования (например, непостоянством скорости повышения давления и самой величины p_c), приводящими к симбатному изменению плотности и прочности материала. Для вытяжки на воздухе экспериментальные точки соответствующего графика неплохо ложились на прямую (рис. 7).

Экстраполяция прямой 1 на рис. 7 к значению плотности, соответствующей сплошному полимеру ($0.934 \text{ г}/\text{см}^3$ [1]), дала для прочности на воздухе величину $\sim 10.3 \text{ МПа}$. Отметим, что образцы высокодисперсного РП сверхвысокомолекулярного ПЭ с близким значением $M_w = 1.8 \times 10^6$ имели примерно такую же прочность ($\sim 11.5 \text{ МПа}$) [8] после компактирования при комнатной температуре, а наш среднедисперсный РП в аналогичных условиях давал образцы с очень низкой прочностью. Если же компактирование проводили при $T_c = 140^\circ\text{C}$, т.е. выше температуры плавления полимера, то образцы теряли хрупкость и при вытяжке растягивались через шейку. Исходные полупрозрачные

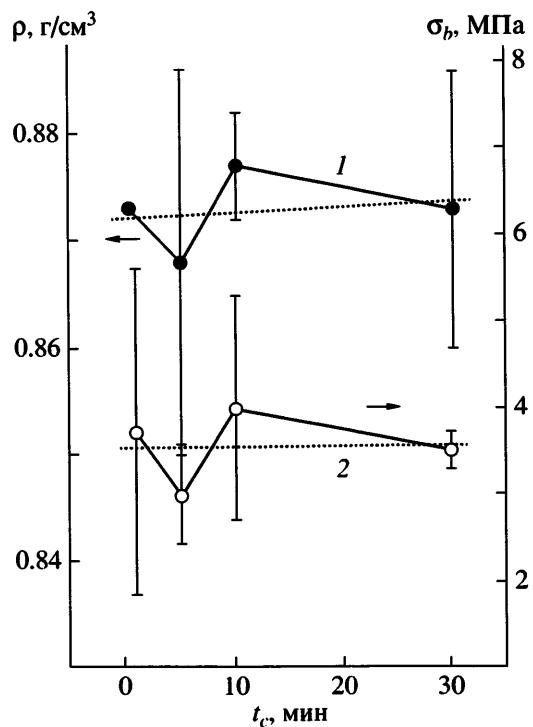


Рис. 6. Влияние t_c при $p_c = 100$ МПа и $T_c = 110^\circ\text{C}$ на плотность (1) и прочность (2) образцов на воздухе.

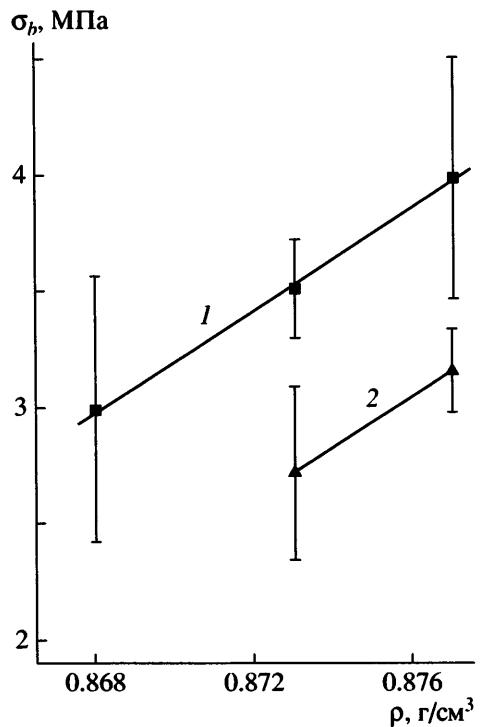


Рис. 7. Корреляция между плотностью и прочностью образцов при вытяжке на воздухе (1) и в декане (2).

образцы имели плотность ~0.933 г/см³. Это совпадало с литературными данными для сплошного полимера и позволяло провести оценку пористости образцов.

Оказалось (рис. 8), что объемная доля пор W в образцах, компактированных в интервале $T_c \sim 90$ – 130°C , изменяется мало и составляет около 6%. Таким образом, закономерный рост прочности образцов в диапазоне 100–130°C (рис. 2б) был связан не с уменьшением пористости W материала.

Чтобы получить дополнительную информацию, были проведены эксперименты по “двойному компактированию”. Сначала в пресс-форму засыпали часть навески РП и при некоторых заданных условиях компактировали таблетку, имевшую соответственно меньшую толщину. Аналогичным образом формировали вторую таблетку. Обе таблетки помещали в ту же пресс-форму и проводили повторное компактирование, причем на этот раз p_c , T_c и t_c могли быть заданы отличающимися от тех, при которых были сформированы таблетки-заготовки.

Обнаружено, что при неизменных $p_c = 80$ МПа и $T_c = 100^\circ\text{C}$ даже кратковременное (t_c от 10 с до 1 мин) первичное прессование приводит к тому, что финальную таблетку со стандартным $t_c = 30$ мин можно расслоить лезвием бритвы по толщине на две части по плоскости, соответствующей границе между таблетками-заготовками (рис. 9). Если время первичного компактирования также увеличивали до стандартного значения $t_c = 30$ мин, то финальная таблетка легко расслаивалась на составные части при вырубании образцов, причем прочность полученных тонких образцов не отличалась от прочности образцов из стандартных таблеток.

Прочность связи между таблетками-заготовками несколько повышалась, если при первом компактировании использовали более низкое давление ($p_c = 38$ МПа). В этом случае не удавалось расщепить финальную таблетку надвое и лезвием бритвы, хотя граница между заготовками все же давала на поверхностях разрушения плоские участки. Однако граница не исчезала, даже если финальному компактированию подвергали не две таблетки-заготовки, а только одну, на

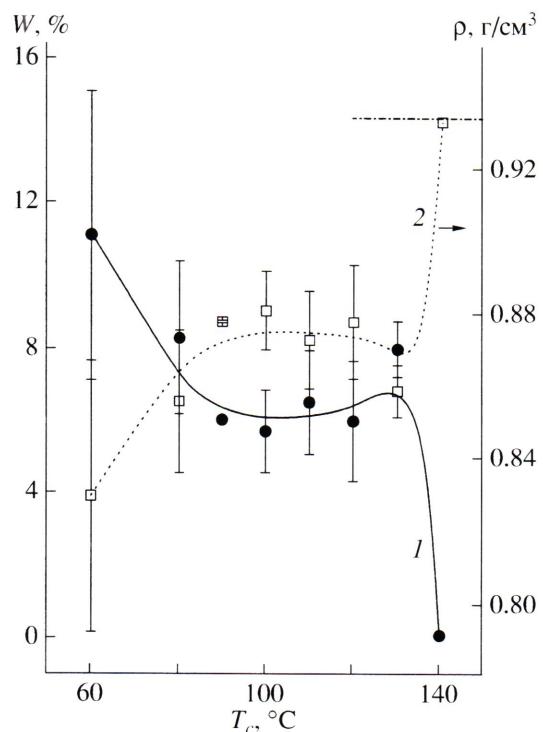


Рис. 8. Влияние температуры компактирования на пористость (1) и плотность (2) компактированных образцов.

которую сверху помещали оставшуюся часть навески исходного РП.

Эти важные результаты “двойного компактирования” показывают, что межзеренные связи оказываются прочнее в том случае, если они образуются между исходными, недеформированными зернами РП. Следовательно, прочность компактированных таблеток во многом определяется процессами, протекающими на первых стадиях деформации контактирующих зерен, и в первую очередь в их поверхностных слоях. Такой вывод хорошо согласуется с приведенными выше данными о независимости прочности таблеток от времени компактирования при постоянных p_c и T_c (рис. 5).

Сжатие системы зерен окружной формы, из которых состоит наш РП (рис. 10), сначала должно приводить к возникновению значительных локальных напряжений в зоне контакта соседних зерен. Как только там будет превышен предел текучести материала для данной температуры, деформация и структурные перестройки, обеспечивающие образование прочных межзеренных связей, начнут развиваться преимущественно в этих

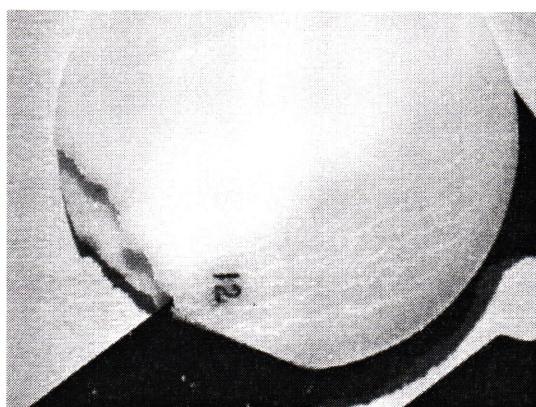


Рис. 9. Расщепление таблетки после двойного компактирования. Ступенька слева внизу, образавшаяся при попытке отломить край таблетки, также выявляет границу между таблетками-заготовками.

локальных поверхностных зонах. В то же время во внутренних, глубинных слоях зерен может сохраняться нативная структура РП, потеря которой (например, при плавлении) приводит к невозможности реализации ценных свойств РП в процессах твердо-фазного формования. По-видимому, это справедливо и для тех случаев, когда зерна РП являются агрегатами частиц или частицами со сложной микропористой структурой [3, 4, 15].

Очевидно, что размер зерен должен влиять на характер их деформации при компактировании РП. Понижение дисперсности РП уменьшает чис-

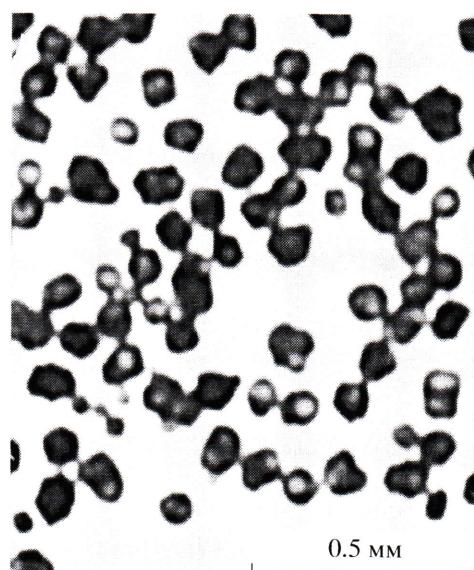


Рис. 10. Микроснимок исходного РП сверхвысокомолекулярного ПЭ.

Сравнение свойств реакторных порошков

Порошок	$M_w \times 10^{-6}$	Плотность, г/см ³	Насыпная плотность, г/см ³	Удельная поверхность, м ² /г	Деформация при разрыве*, %	Прочность*, МПа	Относительное понижение прочности в декане*, %
RP-T	3.1	~0.94	0.485	~0.06	1	2.4	27
RP-414	1.8	0.96	0.06	17	35	15	25

* После компактирования при $p_c = 100$ МПа, $T_c = 100^\circ\text{C}$ и $t_c = 30$ мин.

ло межзеренных контактов на единицу площади (или в единичном объеме), повышая тем самым неоднородность распределения напряжений и деформации при компактировании и дальнейшей монолитизации РП. Сильно деформированные зерна могут полностью потерять исходную структуру, тогда как деформация некоторых зерен может оказаться слишком малой для образования достаточного количества межзеренных связей. И то, и другое должно отрицательно влиять на свойства РП на последующих стадиях переработки в изделия. Возможно, при твердофазном формировании этими причинами во многом обусловлено уменьшение деформационно-прочных свойств ориентированных материалов из таких РП по сравнению с аналогичными материалами из высокодисперсных РП.

Совместный анализ результатов “двойного компактирования”, вытяжки в жидких средах и оценки пористости позволяет сделать и другие выводы, важные для понимания закономерностей твердофазного формования РП. Если когезионные межзеренные связи образуются сразу после приложения нагрузки, то причиной их образования не могут быть сравнительно медленные процессы сегментальной диффузии в нативной структуре РП сверхвысокомолекулярного ПЭ. Однако дефектная структура деформированных граничных слоев может обладать более высокой сегментальной подвижностью [16]. С другой стороны, постоянство объемной доли пор W в интервале между T_α и T_m может свидетельствовать о том, что компактирование при разных T_c придает зернам примерно одинаковую форму, а значит, и общая площадь межзеренных контактов оказывается примерно одинаковой. Тогда закономерный рост прочности в этом интервале можно связать с интенсификацией α -релаксационных процессов, облегчающих как деформа-

цию, так и сокристаллизацию деформированного полимера в области межзеренных контактов.

Нужно отметить, что оценка вклада когезионных связей в общую прочность компактированных образцов позволила сделать еще один вывод, хорошо согласующийся с предложенной схемой формирования межзеренных связей. Мы сопоставили результаты изучения РП сверхвысокомолекулярного ПЭ двух типов: нашего среднедисперсного RP-T и высокодисперсного RP-414 [5], значительно отличающихся по морфологии и свойствам.

Сравнение показывает (таблица), что прочность этих компактированных материалов различается в 6 раз, но вклад когезионных связей одинаков! Это означает, что общее число рвущихся когезионных связей различается сильно, но их число на единицу объема в зоне разрушения одинаково. Таким образом, образование межзеренных слоев может сопровождаться столь глубокой перестройкой нативного материала, что при компактировании различных РП с отличающимися физико-механическими свойствами структура межзеренных слоев оказывается примерно одинаковой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева И.Н., Веселовская Е.В., Наливайко Е.И., Печенкин А.Д., Бухгалтер В.И., Поляков А.В. // Сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой плотности. Л.: Химия, 1982.
2. Porter R.S., Kanamoto T., Zachariades A.E. // Polymer. 1994. V. 35. № 23. P. 4979.
3. Ivan'kova E.M., Myasnikova L.P., Marikhin V.A., Baulin A.A., Volchek B.Z. // J. Macromol. Sci. Phys. 2001. V. 40. № 5. P. 813.
4. Егоров В.М., Иванькова Е.М., Марихин В.А., Мясникова Л.П., Баулин А.А. // Высокомолек. соед. А. 1999. Т. 41. № 11. С. 1779.

5. Синевич Е.А., Аулов В.А., Бакеев Н.Ф. // Докл. РАН. 2006. Т. 408. № 5. С. 636.
6. Ребиндер П.А., Щукин Е.Д. // Успехи физ. наук. 1972. Т. 108. № 1. С. 3.
7. Volynskii A.L., Bakeev N.F. // Solvent Crazing of Polymers. Amsterdam: Elsevier, 1995.
8. Синевич Е.А., Аулов В.А., Бакеев Н.Ф., Макаров С.В., Кучкина И.О., Пантиухин А.А., Павлов Ю.С. // Высокомолек. соед. Б. 2005. Т. 47. № 11. С. 2037.
9. Уорд И. Механические свойства твердых полимеров. М.: Химия, 1975.
10. Joo Y.L., Han O.H., Lee H.-K., Song J.K. // Polymer. 2000. V. 41. № 4. P. 1355.
11. Alberola N., Cavaille J.Y., Perez J. // J. Polym. Sci., Polym. Phys. Ed. 1990. V. 28. № 4. P. 569.
12. Бойко Ю.М., Шерман М.Я. // Высокомолек. соед. А. 1998. Т. 40. № 2. С. 279.
13. Олейник Э.Ф. // Высокомолек. соед. С. 2003. Т. 45. № 12. С. 2137.
14. Аулов В.А., Макаров С.В., Кучкина И.О., Пантиухин А.А., Озерин А.Н., Бакеев Н.Ф. // Высокомолек. соед. А. 2002. Т. 44. № 8. С. 1367.
15. Иванчев С.С., Озерин А.Н. // Высокомолек. соед. Б. 2006. Т. 48. № 8. С. 1531.
16. Boiko Y.M., Guerin G., Marikhin V.A., Prud'homme R.E. // Polymer. 2001. V. 42. № 21. P. 8695.

Formation of Various Types of Intergranular Bond during the Compaction of Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene Reactor Powders

E. A. Sinevich, V. A. Aulov, and N. F. Bakeev

*Enikolopov Institute of Synthetic Polymer Materials, Russian Academy of Sciences,
ul. Profsoyuznaya 70, Moscow, 117393 Russia*

e-mail: sinevich@ispn.ru

Abstract—The results of mechanical testing of compacted ultra-high-molecular-weight PE reactor powder in air and in adsorption-active liquid environments, which dramatically reduce the interfacial surface energy, were analyzed. The intergranular character of brittle fracture of the samples in air and in decane made it possible to assess the contribution from cohesive intergranular bonds to the overall strength (~75%). It was shown that the formation of intergranular bonds depends on the intensity of molecular mobility in the polymer. The strength of the compacted material was found to be determined to a great extent by the deformation of the boundary layers in contacting grains. The formation of the intergranular layers can be accompanied by such a deep structural rearrangement in the nascent material that the structure of the intergranular layers upon the compaction of various reactor powders with different physical-and-mechanical characteristics becomes approximately the same.