

Разработка технологии производства стоек стабилизатора поперечной устойчивости автомобиля с применением процесса ультразвукового прессования вкладышей из высоковязкого ацетального гомополимера

Development of process of ultrasonic pressing of the polyoxymethylene inserts for car anti-roll bars

И.Г. ГУН¹, А.В. СМІРНОВ¹, И.А. МИХАЙЛОВСКИЙ², И.Ю. МЕЗИН², Е.Г. КАСАТКИНА²

I.G. GUN¹, A.V. SMIRNOV¹, I.A. MIKHAILOVSKY², I.Y. MEZIN², E.G. KASATKINA²

¹ АО НПО «БелМаг», Россия, г. Магнитогорск

² ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

¹ AO NPO BELMAG, Russia, Magnitogorsk

² Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov

alexey.smirnov@belmag.ru

Рассмотрен процесс ультразвукового прессования вкладышей из высоковязкого ацетального гомополимера (полиформальдегида) при производстве стоек стабилизатора. Выявлены некоторые зависимости между параметрами рассмотренного процесса.

Ключевые слова: стойка стабилизатора, ультразвуковое прессование, полиформальдегид

The process of ultrasonic pressing of inserts made of high-viscosity acetal homopolymer (polyoxymethylene) in the production of anti-roll bar racks is considered. Some dependencies between ultrasonic pressure parameters are detected.

Keywords: anti-roll bar, ultrasonic pressing, polyoxymethylene

DOI: 10.35164/0554-2901-2021-1-2-55-56

В связи с происходящими в России процессами импортозамещения и технологического перевооружения на предприятии АО НПО «БелМаг» освоено производство стоек стабилизатора поперечной устойчивости автомобиля [1] с применением процесса ультразвукового прессования вкладышей из высоковязкого ацетального гомополимера (полиформальдегида), отличающегося от традиционно применяемых в шаровых шарнирах отечественной автомобильной промышленности сополимеров триоксана с этиленоксидом отсутствием молекул со-мономеров в полимерных цепочках и увеличенной кристалличностью [2].

Особенность процесса заключается в использовании ультразвуковых колебаний для разогрева гомополимера с целью придания ему пластичности, обеспечивающей возможность его эффективно-го формоизменения последующим прессованием [3] (рис. 1).

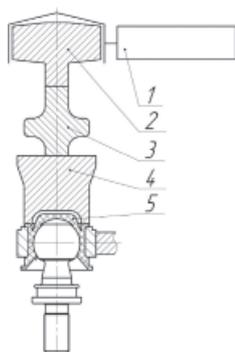


Рис. 1. Принципиальная схема процесса ультразвукового прессования:
1 – источник колебаний, 2 – конвертер,
3 – бустер, 4 – пуансон, 5 – деталь из гомополимера, подвергаемая прессованию.

Источник колебаний 1 генерирует высокочастотные электрические колебания, которые в конвертере 2 преобразуются в механические ультразвуковые колебания. Бустер 3 (механический трансформатор) преобразует колебания и передаёт их на пуансон 4, который передаёт продольные (вдоль вертикальной оси) механические колебания в зону прессования, вызывая нагрев материала детали 5 и

осуществляя его прессование. В результате процесса должно быть получено неразъемное соединение требуемых геометрических размеров без нарушения целостности материала, обеспечивающее заданные прочностные показатели.

Предложенный технологический цикл ультразвукового прессования состоит из следующих операций: подача пуансона без генерации ультразвуковых колебаний до достижения определённого усилия поджатия; генерация ультразвуковых колебаний источником по команде управляющего компьютера; дальнейшая подача пуансона с усилием прессования одновременно с ультразвуковым воздействием до достижения необходимого критерия; прекращение генерации ультразвуковых колебаний, обратный ход пуансона.

Таким образом, основными параметрами ультразвукового прессования, влияющими на осуществление процесса, являются амплитуда A и частота ω ультразвуковых колебаний, усилие поджатия пуансона $P_{\text{под}}$ и усилие прессования $P_{\text{пр}}$.

Для настройки процесса ультразвукового прессования выявлена необходимость установить зависимости между входными параметрами и параметрами, характеризующими протекание процесса. При этом имеющееся технологическое оборудование позволяет варьировать тремя параметрами: амплитудой ультразвуковых колебаний, усилием прессования и усилием поджатия, а частота ультразвуковых колебаний остается постоянной.

С целью установления зависимости времени прессования с наложением ультразвуковых колебаний от параметров процесса были проведены две серии экспериментов: в первой варьировались амплитуда ультразвуковых колебаний пуансона и усилие прессования при постоянном усилии поджатия пуансона, во второй серии варьировались амплитуда ультразвуковых колебаний пуансона и усилие поджатия при постоянном усилии прессования пуансона.

Следует отметить, что с уменьшением амплитуды ультразвуковых колебаний пуансона значительно растет время осуществления процесса прессования. Так, время осуществления процесса прессо-

вания при амплитуде колебаний 50 мкм на всех опробованных усилиях поджатия и прессования настолько велико, что за 10 секунд генерации ультразвуковых колебаний ход пуансона составлял менее половины от полного. При этом практически процесс прессования осуществлялся, однако очевидно, что существует некоторое граничное значение амплитуды колебаний A_0 , превышение которого является необходимым условием начала процесса прессования (рис. 2).

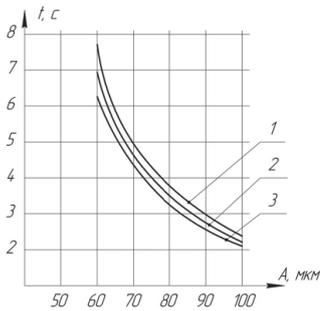


Рис. 2. Зависимость времени t протекания процесса ультразвукового прессования от амплитуды A ультразвуковых колебаний пуансона и усилия прессования $P_{пр}$. 1 – $P_{пр} = 1800$ Н, 2 – $P_{пр} = 2000$ Н, 3 – $P_{пр} = 2200$ Н.

Кроме того, следует отметить, что влияние усилия поджатия на время процесса прессования заметно только в области малых амплитуд ультразвуковых колебаний (рис. 3). В связи с тем, что даже в указанной области это влияние незначительно (так, увеличение усилия поджатия на 50% приводит к снижению времени прессования менее чем на 10%), в данной работе зависимость времени прессования от усилия поджатия более детально не исследовалась и не анализировалась.

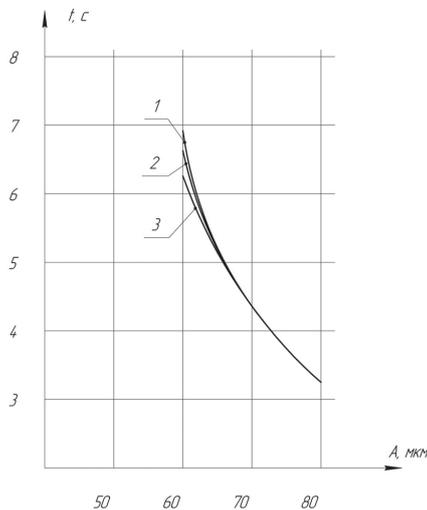


Рис. 3. Влияние усилия поджатия $P_{под}$ на время t протекания процесса, 1 – $P_{под} = 1200$ Н, 2 – $P_{под} = 1500$ Н, 3 – $P_{под} = 1800$ Н.

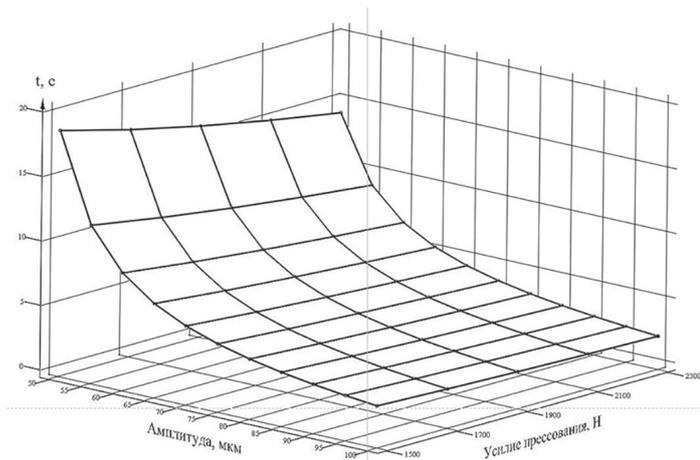


Рис. 4. Графическое отображение регрессионной модели зависимости времени осуществления процесса t от амплитуды и усилия прессования.

Очевидно, что зависимость $t = t(P_{пр}, A)$ имеет вертикальные асимптоты $A = A_0$, и $P = P_0$, а также горизонтальную асимптоту $t = 0$ при $A \rightarrow \infty$ или $P \rightarrow \infty$. С учетом вида полученных экспериментальных данных целесообразным представляется отыскать регрессионную модель, отражающую физический смысл процесса в следующем виде:

$$t = t(P_{пр}, A) = \frac{K}{(P_{пр} - P_0)(A - A_0)}$$

На основе анализа экспериментальных данных найдена регрессионная зависимость [4] с коэффициентом детерминации 0,995 в виде:

$$t = t(P_{пр}, A) = \frac{0,375}{(P_{пр} + 844)(A - 0,0000414)}$$

Графическое отображение этой зависимости приведено на рис. 4.

Кроме того, проведенные эксперименты показали, что при увеличении амплитуды ультразвуковых колебаний, накладываемых на процесс прессования, интенсифицируется процесс выкрашивания отдельных фрагментов гомополимера, связанный с возникновением в материале ударных волн разрежения и сжатия, что приводит к образованию несплошностей в бурте вкладыша и снижению прочностных показателей шарнира стойки стабилизатора: в процессе прессования с амплитудами свыше $A_{max} = 85$ мкм выкрашивание становится достаточно интенсивным, чтобы оказывать влияние на прочностные характеристики изделия.

Таким образом, на поле варьируемых параметров процесса накладываются следующие ограничения:

- Максимальная амплитуда колебаний пуансона $A_{max} = 85$ мкм;
- Максимально допустимое время цикла $t_{max} = 5$ с;
- Максимально реализуемое оборудованием усилие $P_{max} = 2370$ Н.

Следует отметить, что время прессования является случайной величиной, имеющей (при расчете по имеющимся экспериментальным данным) среднеквадратичное отклонение $\sigma = 0,13$ секунды. Таким образом, для того, чтобы время осуществления процесса прессования было гарантированно меньше максимально допустимого времени цикла, необходимо ужесточить ограничение $t_{max} = (5 - 3 \cdot \sigma)$ секунд.

Графическое отображение этих ограничений приведено на рис. 5: из всего поля варьируемых параметров остается ограниченная область 0, из множества точек которой допустимо выбирать режим прессования с наложением ультразвуковых колебаний, руководствуясь дополнительными критериями. Такими критериями могут выступать снижение времени цикла, уменьшение нагрузок на оборудование, минимизация выкрашивания материала бурта вкладыша из эстетических соображений.

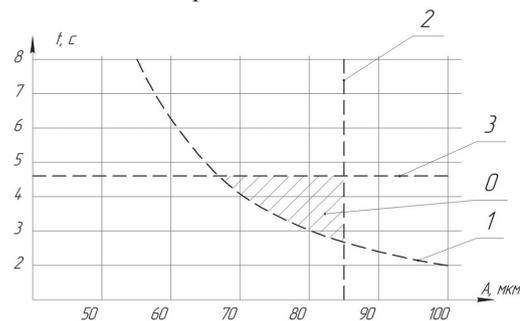


Рис. 5. Накладываемые на поле варьируемых параметров ограничения: 1 – кривая $t = t(P_{прmax}, A)$; 2 – прямая $A = A_{max}$; 3 – прямая $t = t_{max}$; 0 – область допустимых параметров процесса.

Таким образом, в условиях АО НПО «Белмаг» создан технологический режим процесса ультразвукового прессования вкладышей из высоковязкого ацетального гомополимера в виде комбинации амплитуды ультразвуковых колебаний и усилия прессования, выбранных из ограниченного диапазона, обеспечивающий получение неразъемного соединения с требуемыми показателями прочности.

Литература

1. Пат. 157644 Российская Федерация, МПК В60G21/00, F16C11/06. Стойка стабилизатора поперечной устойчивости. Гун И.Г., Калмыков Ю.В., Смирнов А.В., Пестерев Д.А., Гун Е.И., Смирнов А.В., Сальников В.В., Куцепендик В.И.; заявитель и патентообладатель АО НПО «БелМаг». – № 2014144354/11, заявл. 06.11.2014, опубл. 10.12.2015. – 3 с.
2. George Hesser. Delrin® Ацетальные полимеры. – Product Training, 2006
3. Применение ультразвукового прессования для создания неразъемных соединений в шаровых шарнирах стоек стабилизатора / Ал.В. Смирнов, И.Г. Гун. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 73-й межрегиональной науч.-техн. конф. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. – Т. 1. – С. 225–227.
4. Экспериментальное изучение зависимости времени процесса ультразвукового прессования от его параметров / Гун И.Г., Осипов Д.С., Сальников В.В., Куцепендик В.И., Смирнов А.В. // Кузнечно-штамповочное производство. – 2015. – №11. – с. 24–26.