

УДК 621.787.6

О. И. Шаврин, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова
А. К. Домнин, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ДРОБЬЮ ВИНТОВЫХ ПРУЖИН СЖАТИЯ

Рассмотрены некоторые особенности обработки дробью винтовых пружин сжатия. Предложен критерий, позволяющий оценить эффективность обработки дробью пружин в зоне внутренней поверхности витка.

Ключевые слова: винтовые пружины сжатия, обработка дробью, внутренняя поверхность витка.

Проблема эффективности обработки дробью крупногабаритных винтовых пружин становится актуальной в связи с развитием производства высокопрочных пружин для подвижного состава железных дорог [1].

Согласно нормативным документам, регламентирующим выпуск вагонных пружин [2, 3], термически обработанные пружины должны быть упрочнены наклепом дробью.

Для наклепа дробью вагонных пружин применяются, как правило, механические дробеметы [4, 5].

Контроль качества и эффективности дробенаклепа проводят по замерам прогибов контрольных пластин, закрепляемых в специальных держателях и подвергаемых наклепу дробью [3]. Такой вид контроля проводится как для листовых рессор, так и для пружин. Не трудно заметить, что контрольная пластина конструктивно подобна листовой рессоре, поэтому в данном случае не возникает особых сомнений в адекватности полученных результатов контроля, чего нельзя сказать при оценке качества и эффективности наклепа дробью винтовых пружин указанным методом.

В общем случае при обработке пружин в дробемете механического действия требуется равномерная обработка витка как по его длине, так и по окружности поперечного сечения. Первое обеспечивается вращением пружины, а равномерность обработки поперечного сечения зависит от геометрических параметров пружины – диаметра пружины и межвиткового зазора. Максимальный эффект упрочнения наружной поверхности витка достигается при угле встречи потока дробы и поверхности пружины $90^\circ \pm 15^\circ$ [5]. Обработке внутренней поверхности витка препятствует рикошетирующая дробь от боковых поверхностей витка, влияющее на энергию той части потока дробы («энергоэффективной»), которая проходит по межвитковому зазору к внутренней поверхности витка. Чем меньше величина межвиткового зазора и больше диаметр пружины, тем меньше эффективность обработки внутренней поверхности витка.

Это уменьшает общую эффективность дробеструйной обработки, так как наиболее напряженный

в эксплуатации участок поверхности витка пружины оказывается наименее упрочненным.

Для оценки эффективности обработки дробью пружин необходимо установить, какое количество дробы отражается от наружной поверхности витка и взаимодействует с дробью, направленной в межвитковый зазор, и какое количество «энергоэффективной» дробы, направленной в межвитковый зазор, остается после этого взаимодействия.

Для ответа на эти вопросы рассмотрим некоторый сектор α в поперечном сечении пружины. Данный сектор ограничивает элемент витка винтовой пружины, который находится в зоне действия потока дробы с углом встречи с обрабатываемой поверхностью равным 90° (рис. 1), кроме этого примем допущение о том, что в пределах этого сектора условия обработки пружины одинаковые.

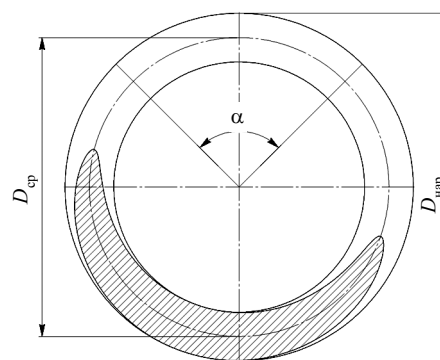


Рис. 1. Поперечное сечение пружины

Площадь межвиткового зазора в пределах сектора α (площадь элемента боковой поверхности цилиндра в пределах сектора):

$$S_M = \frac{\pi\alpha}{180^\circ} (H - d) D_{cp}, \quad (1)$$

где H – шаг пружины; d – диаметр прутка; D_{cp} – средний диаметр пружины.

Далее все выкладки будем производить в пределах сектора α . Для определения площади рикошетирующей и эффективной площади наклепа рассмот-

рим продольное сечение витка пружины в пределах сектора α .

В общем случае дробь рикошетирует в нескольких направлениях, но нас будет интересовать та дробь, которая отражается в зону межвиткового пространства.

Рикошетирующие будем учитывать от наружной поверхности витков (рис. 2), ограниченной зоной в 60° (зона между углами 15° и 75°). Дробь, входящая на поверхность витка в зоне от 0° до 15° , взаимодействует с поверхностью витка по траектории близкой к касательной, поэтому меняет траекторию своего движения незначительно и движется совместно с центральным потоком. Дробь, взаимодействующая с поверхностью витка в зоне от 75° до 90° , обеспечивает эффективное упрочнение наружной поверхности витка, поэтому после отражения имеет минимальную энергию и не оказывает активного воздействия на поток дроби, направленный в межвитковый зазор.

Площадь наружной поверхности двух соседних витков, при отражении от которой происходит взаимодействие отраженной дроби с потоком дроби в межвитковом зазоре:

$$S_p = \frac{1}{6} \frac{\pi^2 \alpha d}{180^\circ} (D_{cp} + d \sin \beta). \quad (2)$$

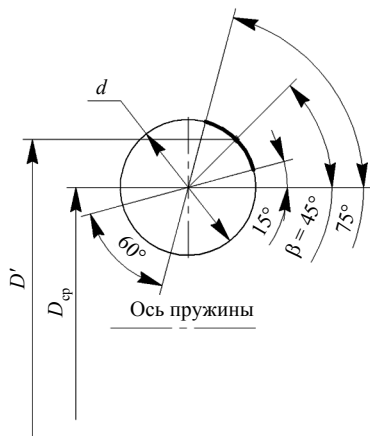


Рис. 2. К определению площади рикошетирования

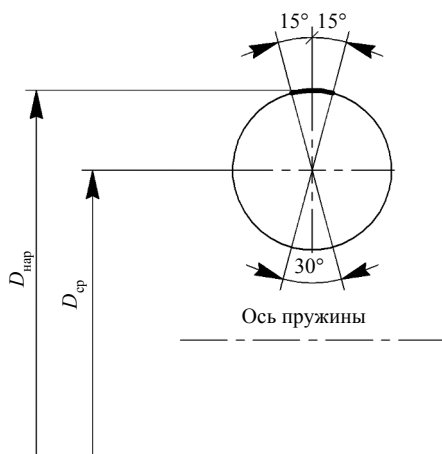


Рис. 3. К определению эффективной площади наклепа

Площадь наружной поверхности витка, подвергающейся эффективному наклепу дробью, т. е. при углах встречи потока дроби и обрабатываемой поверхности $90^\circ \pm 15^\circ$ (зона 30° на рис. 3):

$$S_{эф}^{нар} = \frac{1}{24} \frac{\pi^2 \alpha d}{180^\circ} (D_{cp} + d). \quad (3)$$

Запишем выражения для определения количества дроби, приходящегося на каждый участок площади:

$$\begin{aligned} M_M &= QS_M; \\ M_P &= QS_P; \\ M_{эф}^{нар} &= QS_{эф}^{нар}; \\ M_{эф}^{внутр} &= QS_{эф}^{внутр}, \end{aligned} \quad (4)$$

где Q – плотность потока дроби; M_M – количество дроби, приходящееся на межвитковый зазор; M_P – количество дроби, отраженное от боковой поверхности витков; $M_{эф}^{нар}$ – количество дроби, приходящееся на площадь эффективного упрочнения наружной поверхности витка; $M_{эф}^{внутр}$ – количество дроби, приходящееся на площадь эффективного упрочнения внутренней поверхности витка.

Сформулируем условие эффективной обработки внутренней поверхности витка следующим образом: обработка внутренней поверхности витков пружины дробью будет эффективной в том случае, когда к этой поверхности будет доставлено столько же «энергоэффективной» дроби, сколько необходимо для эффективной обработки наружной поверхности.

Запишем условие эффективной обработки внутренней поверхности витка в виде равенства:

$$M_{эф}^{нар} = M_{эф}^{внутр}. \quad (5)$$

В свою очередь, можно записать:

$$M_{эф}^{внутр} = M_M - M_P, \text{ или } \frac{M_{эф}^{внутр}}{M_M - M_P} = 1. \quad (6)$$

Тогда запишем условие (6) с учетом выражений (1), (2), (3) и (4):

$$\frac{Q \frac{1}{24} \frac{\pi^2 \alpha d}{180^\circ} (D_{cp} + d)}{Q \frac{\pi \alpha}{180^\circ} (H - d) D_{cp} - Q \frac{1}{6} \frac{\pi^2 \alpha d}{180^\circ} (D_{cp} + d \sin \beta)} = 1. \quad (7)$$

После преобразований получим:

$$\frac{H}{d} = 1,65 + \frac{0,5}{c}, \text{ или } \frac{H}{d} \geq 1,65 + \frac{0,5}{c}, \quad (8)$$

где c – индекс пружины.

Также данное выражение можно записать в следующем виде:

$$\frac{h}{d} \geq 0,65 + \frac{0,5}{c}, \quad (9)$$

где h – межвитковый зазор.

Так, например, для пружины внутренней с шагом рабочих витков 24 мм, диаметром прутка 14 мм и наружным диаметром 87 мм – отношение $\frac{H}{d}$ равно 1,714 (вместо 1,746 по формуле (8)).

Определим теперь «энергоэффективное» количество дробы, которое приходится на внутреннюю поверхность витка при обработке дробью, приведенной в пример пружины.

Для этого выразим шаг пружины через диаметр прутка:

$$H = 1,714d. \quad (10)$$

Запишем выражение для «энергоэффективного» количества дробы, попадающего на внутреннюю поверхность витка:

$$\begin{aligned} M_{\text{реальн}} &= QS_M - QS_P = QS_{\text{реальн}}, \\ M_{\text{реальн}} &= Q \left[\frac{\pi\alpha}{180^\circ} (1,714d - d) D_{\text{ср}} - \right. \\ &\left. - \frac{1}{6} \frac{\pi^2 \alpha d}{180^\circ} (D_{\text{ср}} + d \sin \beta) \right] = QS_{\text{реальн}}. \end{aligned} \quad (11)$$

Теперь можно найти отношение количества дробы, приходящейся на эффективную площадь обработки и на реальную:

$$\frac{M_{\text{эф}}}{M_{\text{реальн}}} = \frac{QS_{\text{эф}}}{QS_{\text{реальн}}}. \quad (12)$$

Далее подставив в (12) выражения (3) и (11) и проведя все необходимые преобразования, получим:

$$S_{\text{эф}} = 1,31S_{\text{реальн}}. \quad (13)$$

То есть площадь обработки «энергоэффективной» дробью на внутренней поверхности витка примерно в 1,31 раза меньше эффективной площади обработки.

Из анализа чертежей различных вагонных пружин можно сделать вывод о том, что у большинства пружин отношение шага рабочих витков к диаметру прутка меньше вычисленного по (8) либо незначительно превышает значение отношения, вычисленного по (8) для конкретной пружины.

Таким образом, при обработке вагонных пружин на дробеметных установках не обеспечивается эффективное упрочнение внутренней поверхности витка. Процесс упрочнения дробью реализуется более полно для наружной поверхности витков, а внутренняя поверхность остается минимально обработанной. Кроме того, даже если отношение шага рабочих витков к диаметру прутка превышает величину, рассчитанную по (8) для конкретной пружины, необработанными остаются поверхности, граничащие с обработанной областью на внутренней поверхности витка.

Библиографические ссылки

1. Шаврин О. И. Высокопрочные пружины для подвижного состава железных дорог // Техника железных дорог. – 2012. – № 3(19). – С. 71–80.
2. ГОСТ 1452–2011. Пружины цилиндрические винтовые тележек и ударно-тяговых приборов подвижного состава железных дорог. Технические условия (взамен ГОСТ 1452–2003 ; введ. 01.01.2012). – М. : Стандартинформ, 2012. – 19 с.
3. РД 32.52–95. Инструкция по дробенаклепу пружин и листовых рессор при изготовлении и ремонте рессорного подвешивания подвижного состава.
4. Лузгин Н. П. Изготовление пружин : учебник для подготовки рабочих на производстве. – М. : Высш. шк., 1980. – 144 с.
5. Остроумов В. П. Производство винтовых цилиндрических пружин. – М. : Машиностроение, 1970. – 136 с.

O. I. Shavrin, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

A. K. Dornin, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

To the Efficiency of Ballizing the Compression Helical Springs

Several features of ballizing the compression helical springs are considered. The criterion is proposed allowing to assess the efficiency of ballizing the compression helical springs on the inner surface of the coil.

Key words: compression helical springs, ballizing, inner surface of the coil.