

АГРОИНЖЕНЕРИЯ

УДК 69

Тойгамбаев С.К., Абдулмажидов Х.А., Евграфов В.А. Определение параметров процесса восстановления бронзовых втулок методом обжатия

Defining the parameters of the recovery process
bronze bushings by compression method

Тойгамбаев С. К.

д.т.н., профессор кафедры технический сервис машин и оборудования. Российский государственный аграрный университет им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.

Абдулмажидов Х. А.

д.т.н., доцент кафедры организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ. Российский государственный аграрный университет им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.

Евграфов В.А.

д.т.н., профессор кафедры технический сервис машин и оборудования. Российский государственный аграрный университет им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия.

Toigambayev S. K.

doctor of technical sciences, professor at the Department of Technical Service of Machines and Equipment. Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia.

Abdulmashidov K. A.

doctor of technical sciences, associate Professor at the Department of Organization and Technologies of Hydraulic Reclamation and Construction Works. Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia.

Evgrafov V.A.

doctor of technical sciences, professor at the Department of Technical Service of Machines and Equipment. Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia.

Аннотация. При достижении предельных значений износа возникает необходимость в восстановлении втулок, заключающемся в обжатии, приварке металлической ленты и последующей механической обработке, позволяющей восстановить наружный и внутренний диаметр до номинального размера. В статье приводятся результаты расчетов по определению параметров процесса восстановления втулок распределительных валов двигателей.

Ключевые слова: бронзовая втулка; обжатие; ремонт; износ; диаметр; приварка; поверхность втулки; металлическая лента; восстановление.

Abstract. When the wear limits are reached, it becomes necessary to restore the bushings, which consists in crimping, welding the metal strip and subsequent machining, allowing the outer and inner diameters to be restored to their nominal size. The article presents the results of calculations to determine the parameters of the restoration process of camshaft bushings of engines.

Keywords: bronze bushing; compression; repair; wear; diameter; welding; bushing surface; metal tape; restoration.

Рецензент: Сагитов Рамиль Фаргатович, кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе в ООО «Научно-исследовательский и проектный институт экологических проблем», г. Оренбург

Из-за тяжелых условий работы бронзовых втулок распределительного вала является их изнашивание. Следствием износа является увеличение внутреннего диаметра втулок. Результатом обжатия втулок является уменьшение их наружного и внутреннего диаметра в результате пластической деформации [7,8]. Поскольку окончательная технология восстановления втулки предполагает продавливание ее через цилиндрическое участок обжимной матрицы определенного диаметра, поэтому независимо от исходной величины наружного диаметра втулки D_0 , после обжатия ее наружный диаметр становится равным $D_{обж}$

Следовательно, величина изменения наружного диаметра составит:

$$\Delta_{обж} = D_0 - D_{обж} \quad (1)$$

Уменьшение внутреннего диаметра $d_{обж}$ окажется пропорционально уменьшению наружного диаметра:

$$\delta_{обж} = \Delta_{обж} [D_0 / (d_0 + \delta_{изн})] \quad (2)$$

Внутренний диаметр втулки, $d_{обж}$ равен:

$$d_{обж} = d_0 + \delta_{изн} - \delta_{обж} \quad (3)$$

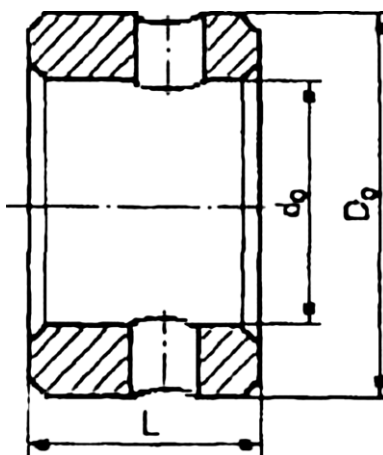


Рис. 1. Бронзовая втулка распределительного вала двигателя

Для того, чтобы втулку можно было восстановить, внутренний диаметр должен оказаться существенно (на несколько десятых миллиметра, по крайней мере) меньше исходного d_0 , чтобы после запрессовки и расточки втулки в составе блока, ее внутренний диаметр снова вернулся к исходному значению d_0 .

Электроконтактная приварка к наружной поверхности втулки металлической ленты приводит к увеличению наружного диаметра втулки [9,10]. Если обозначить толщину ленты T_l , то приращение наружного диаметра втулки после приварки ленты составит:

$$\Delta l = 2K \times T_l, \quad (4)$$

где K - коэффициент, учитывающий уменьшение толщины ленты в процессе электроконтактной приварки, а множитель 2 введен в формулу потому, что диаметр втулки увеличивается на удвоенную толщину ленты.

Внутренний диаметр втулки в процессе приварки ленты не изменяется. После приварки ленты внешняя поверхность втулки подвергается токарной обработке, при которой снимается слой материала ΔT . Особенность этой операции в том, что не может быть удален сколь угодно тонкий слой материала. Минимальный удаляемый слой определяется нормативными документами и составляет $\Delta T_{\min}$.

Внутренний диаметр втулки в процессе приварки ленты не изменяется.

После приварки ленты внешняя поверхность втулки подвергается токарной обработке, при которой снимается слой материала Δt . Особенность этой операции в том, что не может быть удален сколь угодно тонкий слой материала [1,3]. Минимальный удаляемый слой определяется нормативными документами и составляет $\Delta T_{\min}$.

Величина удаляемого слоя определяется влиянием следующих двух факторов: минимально удаляемым при токарной обработке слоем материала ленты $\Delta t_{\min 1}$ и максимальной величиной неровностей поверхности ленты после ее приварки, которую нужно удалить в процессе обработки. Поэтому для успешного восстановления втулки необходимо, чтобы после приварки ленты наружный диаметр втулки был больше номинального по меньшей мере на величину $D_{\text{шнн}}$, иначе говоря, чтобы выполнялось соотношение:

$$D_{\text{обж}} + 2KT_l > D_0 + \Delta T_{\min} \quad (5)$$

По используемой в настоящее время технологии, восстановленные втулки вначале запрессовывают в блок двигателя, а затем обрабатывают под номинальный размер. В процессе запрессовки происходит деформация втулки, изменяется ее жесткость и натяг [2,4]. Проведенные нами опыты по определению уменьшения внутреннего диаметра бронзовой втулки при ее запрессовке в блок двигателя показали, что справедливо выражение:

$$\delta_3 = \gamma K_3, \quad (6)$$

где δ_3 - уменьшение внутреннего диаметра втулки при ее запрессовке в блоке двигателя, мм; γ - натяг в мм; K_3 - эмпирический коэффициент, близкий к 1, учитывающий упругие свойства втулки.

10

Изменение наружного и внутреннего диаметра втулки при запрессовке в блок двигателя пропорциональны величинам диаметров, поэтому уменьшение наружного диаметра при запрессовке выразится соотношением:

$$\Delta_3 = \delta_3 d_0 / D_0 \quad (7)$$

Последняя операция по подготовке восстановленной втулки состоит в расточке ее внутреннего отверстия, в ходе которой внутреннему отверстию придается цилиндрическая форма, и внутренняя поверхность отверстия растачивается до диаметра заданной величины. Увеличение внутреннего диаметра в процессе расточки обозначим δ_T . В процессе расточки наружный диаметр, естественно, не изменяется.

Таким образом, в результате операций, производимых над втулкой в течение ее восстановления, имеют место следующие изменения размера ее наружного и внутреннего диаметра, определяемые соотношениями (8) и (9), соответственно:

$$D_0 - \Delta_{обж} + 2T_{лК} - \Delta_1 - \Delta_3 = D_0' \quad (8)$$

$$d_0 + \delta_{изн} - \delta_{обж} - \delta_3 + \delta_T = d_0' \quad (9)$$

Для восстановления внутреннего диаметра втулки распределительного вала ее внутренний диаметр уменьшают путем обжатия до величины несколько меньшей номинального значения (с учетом припуска на механическую обработку). В процессе обжатия втулка должна испытывать пластическую деформацию. Предел текучести для оловянно-свинцовых бронз составляет величину близкую к 39...78 МПа, например, для бронзы Бр. ОЦС 5-5-5 предел текучести равен $\sigma_1 = 78$ МПа. При прохождении через матрицу, напряжения в теле втулки возрастают до уровня близкого к пределу текучести, после чего происходит пластическая деформация втулки [5,9,11]. Силы, действующие на втулку со стороны матрицы при ее прохождении через цилиндрическое отверстие должны обеспечить пластическую деформацию втулки. Для обжатия предлагается использовать штамп, показанный на рис. 2. Матрица штампа состоит из конической горловины и цилиндрического отверстия. Прохождение втулки через матрицу на цилиндрическом участке.

Силы, действующие на элемент втулки при ее прохождении через цилиндрическую часть матрицы, показаны на рис. 3 (б). Условие равномерного продвижения втулки через цилиндрическую часть матрицы можно записать следующим образом:

$$F_{\text{прох}} = F_{\text{тр}} \quad (10)$$

где $F_{\text{прох}}$ - проталкивающая сила, действующая на втулку со стороны поршня, $F_{\text{тр}}$ - сила трения, равная произведению коэффициента трения f на силу $F_{\text{обж}}$ обжатия втулки.

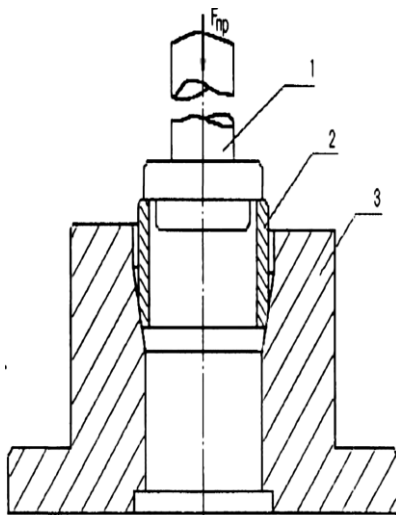


Рис. 2. Схема обжатия бронзовой втулки:

1 - пуансон; 2 - бронзовая втулка; 3 - матрица

Сила обжатия втулки в свою очередь пропорциональна площади втулки и величине ее обжатия. Поскольку интересующей величиной является механическое напряжение σ в теле втулки и, как было показано выше, механические напряжения в теле втулки на цилиндрическом участке определяются пределом текучести материала втулки, силу обжатия втулки можно записать в виде:

$$F_{\text{обж}} = \pi D_0 L \delta \tau \quad \delta = \delta \tau \quad (11)$$

где D_0 - наружный диаметр втулки; L - длина втулки.

Таким образом, сила трения и напряжение во втулке в процессе обжатия составят:

$$F_{\text{тр}} = f \pi L D_0 \delta \tau \quad \delta = \delta \tau \quad (12)$$

а минимальная величина проталкивающего усилия пуансона равна силе трения. Поскольку все входящие в эти соотношения величины известны или могут быть оценены, произведем вычисления механических напряжений во втулке и минимального проталкивающего усилия пуансона.

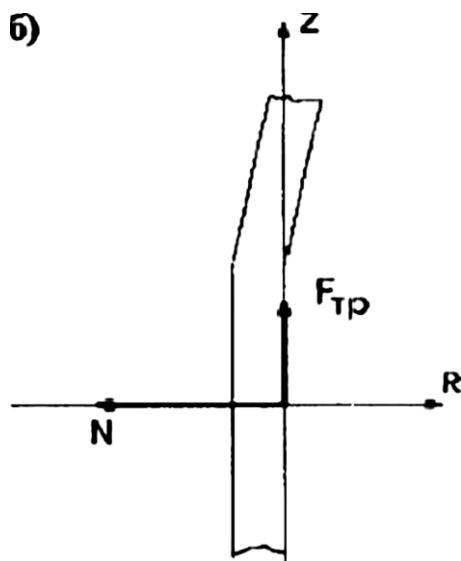


Рис. 3. Схема сил, действующих на элемент втулки при проталкивании ее через цилиндрический участок (б)

$$N=N(z); F_{тр}=F_{тр}(z)$$

Для расчетов примем коэффициент трения равным 0,05; 0,10 и 0,15, длину втулки близкой к 38 мм. Отсюда получаем оценку для силы трения и равной ей силы проталкивания:

$$F_{прох}=F_{тр}=(0,05...0,15) 3,14 \cdot 38 \cdot 68 \cdot 60(H) \approx (24...72) кН$$

Меньшее значение соответствует нижней границе диапазона рассматриваемых коэффициентов трения, а верхнее - верхней границе диапазона. Подобные усилия могут быть достигнуты на гидравлических прессах. Однако, следует обратить внимание на то, что при обжати втулок нет необходимости их в проталкивании через цилиндрический участок, длина которой больше или даже равна длине втулки. Использование матрицы с отверстиями, цилиндрическая часть которых имеет длину 30 мм позволяет снизить необходимое усилие до 20...56 кН, а при длине цилиндрических отверстий 25 мм это усилие составит 16...47 кН. Удельное давление на единицу поверхности втулки со стороны пресса оказывается относительно небольшим. Так как площадь поверхности втулки, обращенной к прессу, примерно равна $5 \cdot 10^3$ мм², то величина удельного давления не превысит 5...15 МПа.

Из анализа полученных оценок видно, что величина коэффициента трения существенно влияет на усилие проталкивания втулки через цилиндрический участок матрицы [4,6,10]. При коэффициенте трения равном 0,05 максимальное усилие оказывается равным примерно 24кН, но при коэффициенте трения равном 0,15 оно возрастет уже почти до 72кН. Таким образом, мы видим, что коэффициент трения целесообразно выбирать минимальным, равным 0,05...0,08. Механические напряжения в материале втулки будут определяться величиной ее относительной деформации. Поскольку эта величина относительной деформации выбирается в пределах 1%, что не может привести к разрушению или изменению прочностных свойств материала втулки.

Выводы

При продавливании втулки через матрицу она проходит через конический и цилиндрический участки матрицы. При движении по коническому участку силы, действующие на втулку, зависят от угла наклона образующей конуса к вертикали. Целесообразно выбирать угол наклона образующих конической поверхности так, чтобы он не превышал 6...8 градусов.

Conclusions

When the sleeve is pushed through the die, it passes through the conical and cylindrical sections of the die. When moving along a conical section, the forces acting on the sleeve depend on the angle of inclination of the forming cone to the vertical. It is advisable to choose the angle of inclination of the generators of the conical surface so that it does not exceed 6 ... 8 degrees.

Библиографический список

1. Абдулмажидов Х.А. Экспериментальные исследования работы модели ковша каналоочистителя. / В сборнике: Логистика, транспорт, природообустройство - 2014. Материалы международной научно-практической конференции. 2014. С. 89-95.
2. Башнин Ю.А. Технология термической обработки. / -М.: Металлургия, 2001. 85с
3. Новиченко А.И., Шолохов М.Н. Современные средства повышения эксплуатационно-технологических свойств машин. / В сборнике: Проблемы развития мелиорации и водного хозяйства и пути их решения. Сборник трудов конференции. 2011. С. 98-105.
4. Орлов Б.Н., Карапетян М.А., Абдулмажидов Х.А. Исследования износа рабочих элементов машин и технологического оборудования. / Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 2. С. 36-38.

5. Тойгамбаев С.К. Повышение уровня технической обеспеченности в растениеводстве Республики Казахстан. / Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Российский государственный аграрный университет-Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева. Москва. С. 322.
6. Тойгамбаев С.К., Евграфов В.А. Исследования по оптимизации и эффективности использования машинно-тракторного парка предприятия. / Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2016. № 5. С. 28-33.
7. Тойгамбаев С.К. Испытания двигателей на специальных стендах. / Актуальные проблемы современной науки. 2015. № 5 (84). С. 163-167.
8. Тойгамбаев С.К., Дидманидзе О.Н., Апатенко А.С., Парлюк Е.П., Севрюгина Н.С. Работоспособность технических систем. Учебник для ВУЗов по изучению дисциплины / Москва, 2022. С-379.
9. Тойгамбаев С.К. Восстановление бронзовых втулок скольжения центробежной заливкой с применением электродугового нагрева. / Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2015. № 7. С. 28-32.
10. Шнырев А.П., Тойгамбаев С.К., Сергеев Г.А., Казимирчук А.Ф. Основы технологии изготовления деталей транспортных и технологических машин. / Учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 190207- "Машины и оборудование природо-обустройства и защиты окружающей среды". Москва, 2008. С. 238.
11. Martynova N., Telovov N., Toigambayev S., Shavazov K., Yusupov S. / Machine for carrying works on deep loosening of soil with the simultaneous application of liquid organic fertilizers. В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 1. Сер. "1st International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering 2020" 2020. С. 012145.