

ВЕСНІК

Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта
імя Янкі Купалы

Серыя 2

**Матэматыка
Фізіка
Тэхніка
Інфарматыка
Біялогія
Хімія
Экалогія
Эканоміка**

1(19), 2003

Г.А.Костюкович

ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРЕСТОВИН КАРДАННЫХ ВАЛОВ ИЗ СТАЛИ ПОНИЖЕННОЙ ПРОКАЛИВАЕМОСТИ 60ПП

Разработана технология изготовления крестовин карданных передач из стали 60 ПП, определены критерии, влияющие на долговечность эксплуатации крестовин карданных передач, предложена модель распределения температуры в поверхностных слоях при индукционном нагреве стальных деталей.

Практически все грузовые автомобили и некоторые виды автомобилей особо малого и малого классов оборудуются карданными передачами с универсальными шарнирами. Возрастающие требования к карданным передачам требуют создания и внедрения более совершенных их конструкций как в части чисто конструкторских решений, так и в части оптимального подбора материалов деталей. Во многих случаях добиться повышения прочности деталей чисто конструктивными решениями не удастся. Это связано с установкой на транспортные средства более мощных двигателей, а это в свою очередь влечет за собой применение карданных передач более мощного типоразмера [1, с.232]. Приводные валы с универсальными шарнирами являются неотъемлемой частью подавляющего большинства современных машин и механизмов, особенно в транспортной технике. Правильный выбор универсальных шарниров и их сочетаний, а также рациональная компоновка приводных валов в значительной степени определяют технико-экономические и эксплуатационные характеристики. Так, например, качество работы автомобильных трансмиссий в немалой степени зависит от работы трансмиссионных валов. Их характеристики влияют на уровень вибрации, шума, надежность трансмиссии, устойчивость движения и маневренность автомобиля [2, с.73]. Карданная передача, обладая определенной массой, моментом инерции, структурой кинематики шарниров, подвижностью шлицевого соединения и несоосностью отдельных элементов, вызванной зазо-

рами в них и допусками при сборке, представляет собой достаточно мощный источник возмущения крутильных и изгибных колебаний, ощущаемых субъективно как вибрации и воздействующих на собственные узлы и связанные с ними механизмы автомобиля. Отказы отдельных узлов карданной передачи при наличии существенного дисбаланса часто становятся причиной выхода из строя соединяемых агрегатов (например, редукторов ведущих мостов и коробок передач). Повышенная металлоемкость, виброактивность, недостаточная надежность, большие осевые силы, возникающие в шлицевом соединении карданного вала, являются существенными недостатками многих конструкций карданных валов. Повышение их надежности является актуальной проблемой и требует скорейшего решения. Наиболее ответственной деталью любого карданного вала является крестовина, к которой предъявляются особые требования. Возникает задача подбора материала с оптимальным сочетанием термообработки, что позволило бы не только снизить затраты на производство самой крестовины, но и смогло бы поднять ее несущую способность. Одновременно ставится задача автоматизации процесса термообработки и снижения стоимости деталей [3, с.25; 4, с.86]. Материал крестовины карданного шарнира выбирают с учетом предельных нагрузок, усталостной прочности и требований к надежности, вытекающих из заданных условий эксплуатации.

Целью работы являлись разработка технологии изготовления крестовин карданных валов из стали 60 ГП и изучение их физико-механических свойств.

Основные конструктивные параметры крестовин карданных шарниров должны соответствовать требованиям, представленным в таблицах 1 и 2 и на рис. 1.

Крестовины карданных шарниров изготавливаются из конструкционных сталей, обеспечивающих получение повышенной прочности шипов и твердости их поверхностного слоя. Твердость поверхностного слоя крестовин карданных шарниров после окончательной обработки должна быть не менее:

на цилиндрической поверхности шипов крестовины 61...67 HRC₃,
на торцах шипов крестовин – 61...66 HRC₃,

Эффективная глубина поверхностного слоя после окончательной обработки не должна быть менее:

- для крестовин типоразмеров I-III 0,8 мм;
- для крестовин типоразмера IV 0,9 мм;
- для крестовин типоразмера V 1,6 мм;
- для крестовин типоразмеров VI-VIII 1,8 мм.

Шероховатость поверхности после окончательной обработки не должна превышать следующих значений параметра Ra:

на цилиндрической поверхности шипов крестовин 0,32 мкм;

на поверхности торцов крестовин:

- для крестовин типоразмера I 0,4 мкм;
- для крестовин типоразмеров II-VIII 0,8 мкм

Отклонения от округлости и от профиля продольного сечения шипов крестовин карданного шарнира (размер d) не должны быть более 0,006 мм.

Отклонение от соосности осей противоположных шипов крестовин относительно их общей оси не должно быть более 0,006 мм.

Отклонение от пересечения общей оси двух противоположных шипов крестовины с общей осью двух других шипов для типоразмера II не должно быть более 0,05 мм, для остальных типоразмеров не более 0,1 мм.

Отклонение от перпендикулярности оси двух противоположных шипов крестовины относительно оси двух других шипов не должно быть более 0,02 мм.

Отклонение от симметричности для размера H₁ крестовины не должно быть более:

для типоразмеров II-IV 0,05 мм;
 для всех остальных типоразмеров 0,1 мм.

Отклонение от плоскостности торцов шипов крестовины в пределах диаметров торцов не должно быть более:

для крестовин типоразмеров I-III 0,015 мм;
 для крестовин типоразмера IV-VIII 0,025 мм.

Отклонение от перпендикулярности торцов шипов крестовины относительно общей оси шипов в пределах длины рассматриваемой поверхности не должны быть более 0,025 мм. В настоящее время известна одна технология изготовления крестовин карданного шарнира, обеспечивающая приемлемый уровень свойств. Согласно этой технологии, крестовины изготавливаются из легированных цементуемых сталей типа 20ХГНТР, 15ХГН2ТА, при этом имеет место ступенчатая термообработка – предварительно механически обработанные крестовины подвергаются цементации на глубину 1,5...2 мм, а затем закаляются в масле. Отпуск проводят при 200 °С. Основным недостатком данного вида термической обработки применительно к крестовинам карданных передач, работающим на изгиб и кручение, является необходимость закалки на мартенсит на относительно большую глубину, достаточно большие затраты и достаточно узкий диапазон применения крестовин по крутящему моменту.

Таблица 1

Основные размеры крестовин карданных шарниров

Типоразмер шарнира	Размер между торцами крестовины Н ₁ , мм		Диаметр шипа d, мм	
	номин.	предел, отклон.	номин.	предел, отклон.
I	57,17	0 -0,050	14,725	0 -0,010
	56,10*		16,000	+0,012 +0,001
	65,00		19,050	+0,015 +0,002
II	74,15	0 -0,030	15,230	0 -0,010
III	80,00	0 -0,040	16,300	0 -0,012
			18,380	0 -0,013
IV	90,00	-0,070 -0,110	22,000	0 -0,014
V	108,00	-0,040 -0,075	25,000	-0,020 -0,040
VI	127,00	0 -0,040	33,635 (33,62)	0 -0,027
	127,00	-0,050 -0,090		
VII	147,00 143,0*	0 -0,040	33,635 (33,62)	0 -0,027
VIII	165,00 161,0*	0 -0,040	45,000	-0,020 -0,035

Примечания:

1. При применении торцевых шайб размер Н₁ соответственно уменьшается.
2. *) Размер при применении торцевых шайб.

Таблица 2

Основные размеры крестовин карданных шарниров

Мп. Н-м	1500		3200		4500		8000		12000	
Н, мм	-	-	98	98	118	118	135	135	155	155
D, мм	30	30	35	35	39	39	50	50	50	50
d, мм	16,3	16,3	22	22	25	25	33,62	33,62	33,62	33,62
H ₁ , мм	80	80	90	90	108	108	127	127	147	147
H ₂ , мм	60	60	-	-	-	-	-	-	-	-
масленка	+		+		+		+		+	
пробка				+						
0,к/	0,61	0,61	0,91	0,91	1,42-	1,4	2,4	2,46	2,91	2,97

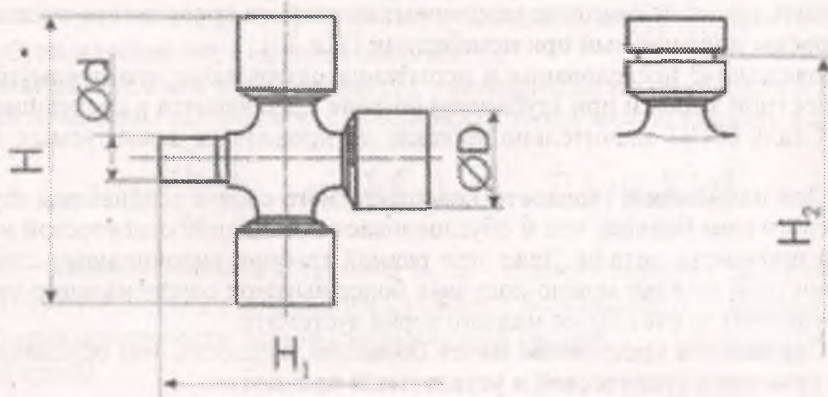


Рис. 1 Конструктивные параметры карданных шарниров

H – размер крестовины по торцам подшипника, H₁ – размер крестовины по торцам без подшипников, Ø D – диаметр подшипника, Ø d – диаметр шипа, H₂ – размер по канавкам под стопорные кольца.

В общем случае для получения высокой статической усталостной прочности крестовин необходимо:

1. Наличие на их поверхности высокопрочного закаленного слоя, глубина которого должна находиться в определенном соответствии с размерами упрочняемого сечения.

2. Упрочнение сердцевины детали.

3. Наличие остаточных сжимающих напряжений в поверхностных слоях деталей.

Этого удалось достичь благодаря применению нового более современного метода поверхностной закалки при глубинном индукционном нагреве с применением стали 60 ПП.

Особенностями нового метода поверхностной закалки при глубинном нагреве являются следующие:

1. Глубина нагрева до надкритических температур больше, чем требуемая толщина закаленного слоя, при этом упрочняемые элементы деталей прогреваются насквозь.

2. Применяемая сталь 60ПП прокаливается на меньшую глубину, чем толщина нагретого слоя, поэтому зона закалки на мартенсит определяется не глубиной нагрева, а прокаливаемостью стали. При этом участки детали, расположенные глубже мартенситной зоны, нагреваемые до надкритических температур, при охлаждении приобретают структуру троостита закалки и существенно упрочняются.

3. Необходимость нагрева детали на большую глубину, требует применения относительно низкой концентрации энергии в зоне нагрева: удельная мощность обычно составляет 0,05-0,2 кВт/см², скорость нагрева в области фазовых превращений находится в пределах 2-10 град/сек, а время нагрева деталей 20-100 сек. Это определяет относительно небольшие значения установленных мощностей индукционных установок (в среднем 0,1-0,2 кВт установленной мощности генератора на 1 см нагреваемой поверхности детали). Специфическая особенность метода поверхностной закалки при глубинном нагреве заключается в том, что наряду с уменьшением прокаливаемости создаются условия для сквозной объемной термической обработки рабочего сечения крестовины, что значительно повышает конструктивную прочность. Кроме того, метод позволяет получить высокий комплекс механических свойств крестовины, превышающий уровень, достигаемый при цементации [5, с.30].

Проведенные исследования и испытания показывают, что преимущества поверхностной закалки при глубинном нагреве заключаются в следующем.

1. Сталь 60ПП значительно дешевле легированных цементуемых марок стали;

2. При одинаковой твердости поверхностного слоя и сердцевины глубина упроченного слоя больше, что и обуславливает повышение статической и усталостной прочности детали. Даже при равной глубине упроченного слоя при поверхностной закалке можно получить более высокое сопротивление хрупкому разрушению за счет более мелкого зерна аустенита.

3. Сердцевина крестовины имеет большую твердость, что обуславливает лучшее сочетание статической и усталостной прочности.

4. Упрочнение сердцевины и поверхностного слоя осуществляют за одну операцию, время термической обработки сокращается с 20 часов до 3 мин.

5. Станки для индукционной закалки в несколько раз дешевле печей для цементации той же производительности.

6. Расходы, связанные с проведением термообработки, на газ, электроэнергию, жароупоры, амортизацию также меньше.

Индивидуальная обработка, характерная для индукционной закалки, дает возможность получить распределение свойств по длине шипов, в соответствии с действующим там нагрузками. Так, если при цементации твердость и глубина высокотвердого слоя постоянна по всей длине шипа, то при индукционной закалке и прерывистом самоотпуске удается получить особо высокую твердость (до 65 HRC₂) и большую глубину высокотвердого слоя у вершин шипов, где действуют высокие контактные усилия, и пониженную твердость 51...56 HRC₂, при небольшой глубине этого слоя у основания шипа. Это обеспечивает высокое сопротивление максимальным на этом участке статическим, динамическим и циклическим нагрузкам, при сохранении достаточного уровня сопротивления износу. Однако индивидуальная обработка при индукционной закалке требует разработки технологии упрочнения для каждого типоразмера крестовины с созданием индивидуального оборудования и оснастки.

Нагрев и охлаждение поверхности обрабатываемых деталей при индукционной закалке происходят с высокими скоростями, достигающими сотен и тысяч °C/с, осуществляются внутри индуктора и спрейера при зазоре между ин-

дуктором и нагреваемой поверхностью 0,3-3,0 мм. Прямые измерения температуры в таких условиях существующими методами практически неосуществимы. В связи с этим представляет практический интерес математический расчет температуры нагрева, скорости нагрева и охлаждения в процессе индукционной закалки деталей методом математического моделирования. В созданной методике расчета приняты во внимание скоростные и электрические параметры нагрева, а также тепловые и электрические свойства применяемых сталей и охлаждающей среды.

Математическая модель для определения температурных полей в материале, подвергающемся воздействию токов высокой частоты, основана на решении широко известного уравнения теплопроводности Фурье, которое при условии наличия внутренних источников тепла имеет вид:

$$c_p(T) \cdot \rho(T) \cdot \frac{\partial T(\vec{r}, \tau)}{\partial \tau} + \nabla(-\lambda(T) \cdot \nabla T(\vec{r}, \tau)) = Q_v(\vec{r}, \tau), \quad (1)$$

где $T(\vec{r}, \tau)$ – температура тепла в точке с радиус-вектором \vec{r} в момент времени τ ; c_p , ρ , λ – соответственно теплоемкость, плотность и коэффициент теплопроводности материала тепла; $Q_v(\vec{r}, \tau)$ – объемная плотность внутренних источников тепла, обусловленная поглощением энергии.

Граничные условия к уравнению (1), учитывающие конвективный и радиационный механизмы теплоотдачи с поверхности тепла, можно записать в форме:

$$-\lambda(T) \cdot \frac{\partial T(\vec{r}, \tau)}{\partial \vec{n}} \Big|_{\vec{r} \in B} = \alpha(T) \cdot (T(\vec{r}, \tau) - T_c) + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T^4(\vec{r}, \tau) - T_c^4). \quad (2)$$

Здесь \vec{n} – внешняя нормаль к границе В; ε – степень черноты поверхности; $\sigma \approx 5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² · К⁴) – постоянная Стефана – Больцмана; α – коэффициент теплообмена поверхности детали с окружающей средой; T_c – температура окружающей среды.

В начальный момент времени ($\tau=0$) задается распределение температуры $T_0(\vec{r})$ в теле:

$$T_0(\vec{r}, \tau) \Big|_{\tau=0} = T_0. \quad (3)$$

Температура детали определяется из решения уравнения теплопроводности (1) с граничными условиями (2) и начальными условиями (3). Указанная система решается методом конечных элементов.

Изменения температурного поля во времени при отсутствии в исследуемой детали внутренних источников тепла, как это имеет место в нашем случае (охлаждение при закалке), описываются дифференциальным уравнением Фурье (4), так называемым уравнением теплопроводности

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (4)$$

где t – температура в данный момент времени в данной точке; τ – время, ч; x, y, z – координаты элементарного объема в прямоугольной системе координат; a – коэффициент температуропроводности, м²/ч.

Чтобы получить однозначное решение уравнения теплопроводности для данной формы детали, необходимо, помимо уравнения теплопроводности, задать так называемые краевые условия, которые описывают распределение тем-

пературы внутри детали в начальный момент времени (начальное условие) и закон теплообмена между поверхностью детали и окружающей средой (поверхностное, или граничное, условие).

Допустим, что поверхность стальной детали мгновенно принимает температуру охлаждающей среды и остается постоянной в течение всего цикла охлаждения. Такое предположение соответствует частному случаю граничных условий (5) первого рода:

$$t_n(\tau) = f(\tau) = \text{const} = t_{cp}, \quad (5)$$

где t_n – температура поверхности детали; t_{cp} – температура охлаждающей среды. При этом $v_n = \infty$; $Bi = \infty$.

Будем рассматривать решение уравнения теплопроводности (4) в двух вариантах – при сквозном нагреве тела до заданной температуры и для поверхностного нагрева.

При сквозном нагреве закаливаемая деталь в конце процесса нагрева по всему сечению имеет одинаковую температуру (6), а в начале охлаждения поверхность мгновенно принимает температуру охлаждающей среды, т.е.

$$t_n = \text{const} = t_{cp}. \quad (6)$$

При поверхностном нагреве в начальный момент времени охлаждения температура распределяется по сечению тела по закону параболы второго порядка, тогда начальное условие (7) для этого случая

$$t|_{r=0} = t_c^0 + \Delta t_0 \xi^2, \quad (7)$$

где t_c^0 – начальная температура середины детали; ξ – относительные координаты; Δt_0 – разность температур поверхности и середины детали перед началом охлаждения.

1. Проектирование универсальных шарниров и ведущих валов. – Л.: Машиностроение, 1984. – 464 с.
2. Малоховский Я.Э., Латин А.А., Веденеев Н.К. Карданные передачи. – М.: Машгиз, 1962. – 156 с.
3. Карданные передачи грузовых автомобилей. Проблемы и решения / Иванов С.Н., Козадаев А.И., Поворов Б.Е., Сокруто И.В // Автомобильная промышленность. – 1992. – №11. – С 131 – 138.
4. Иванов С.Н, Савельев В.А., Кочешков Н.П. Карданные передачи трансмиссий. Перспективы проблемы // Автомобильная промышленность. – 1988. – №12. – С.115 – 119.
5. Иванов С.И. Трансмиссионные валы нового поколения // Автомобильная промышленность. – 1998. – №11. – С.23 – 27.
6. Шепеляковский К.З. Поверхностная закалка машиностроительных сталей обычной и пониженной прокаливаемости при индукционном нагреве: Автореф. дис. ...д-ра техн. наук: 05.02.01 / НАМИ – Москва, 1965. – 41 с.

Поступила в редакцию 10.10.2002.

The technique of manufacturing of remotely spiders of gimbal transmissions from steel 60 ПП has been designed, the measure influencing longevity of maintenance of remotely spiders of gimbal transmissions are defined the sample piece of allocation of temperature in surface layers is offered at an induction heat of steel details.

Костюкович Геннадий Александрович, соискатель кафедры материаловедения и ресурсосберегающих технологий ГрГУ им. Я.Купалы.