

УДК 631.37

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МАРКИ СТАЛИ ДЛЯ ПАЛЬЦЕВ КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА

**Г.К. Ванжа**, кандидат технических наук, доцент кафедры основ конструирования механизмов и машин

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, Украина

**А.М. Твердохлеб**, ассистент кафедры основ конструирования механизмов и машин

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, Украина, e-mail: [twerdohlebam@mail.ru](mailto:twerdohlebam@mail.ru)

**А.Ю. Журавель**, студент группы ИМмм-11-1

Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, Украина

**Аннотация.** В работе обоснован выбор и способ термической обработки углеродистых сталей пониженной прокаливаемости, обладающих после закалки токами высокой частоты более высокими показателями механических свойств, при сравнительно низкой стоимости металла.

*Ключевые слова:* термическая обработка, углеродистая сталь, токи высокой частоты, кривошипно-шатунный механизм, поршневой палец.

## RATIONALE FOR SELECTION OF STEEL GRADES FOR PISTON PIN OF CRANK MECHANISM

**G.K. Vanga**, Ph.D., Associate Professor of Machinery Design Bases Department

State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine

**A.M. Tverdohleb**, Assistant of Machinery Design Bases Department

State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: [twerdohlebam@mail.ru](mailto:twerdohlebam@mail.ru)

**A.U. Juravel**, Student of group IMmm-11-1

State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnepropetrovsk, Ukraine

**Abstract.** In this article justified selection operation and a method of heat treatment of carbon steel hardenability, after hardening by high frequency received high mechanical properties of steel at relatively low cost metal.

*Keywords:* heat treatment, carbon steel, high frequency currents, crank mechanism, piston pin.

**Введение.** Кривошипно-шатунный механизм (КШМ) служит для преобразования поступательного движения поршня во вращательное коленчатого вала и наоборот. Механизм нашел широкое применение в двигателях внутреннего сгорания, компрессорных, поршневых насосах и т.д.

Детали КШМ делят:

- подвижные: поршень, поршневой палец, шатун, коленчатый вал, маховик;

- неподвижные: блок цилиндров, головка блока цилиндров, картер.

Соединение поршня с коленчатым валом осуществляется с помощью шатуна, который состоит из верхней и нижней головок. Поршень соединяется с шатуном при помощи запрессовываемого в него поршневого пальца, проходя через втулку головки шатуна. Нижняя головка шатуна выполнена в виде развёрнутых вкладышей, которые охватывают шейку коленчатого вала через разъемные вкладыши.

**Цель работы** обосновать выбор и способ термической обработки стали обладающей после закалки токами высокой частоты (ТВЧ) более высокими показателями механических свойств, при сравнительно низкой стоимости металла.

**Материал и результаты исследований.** Поршневой палец служит осью в шарнирном соединении поршня с шатуном и воспринимает все передающиеся между ними силовые нагрузки. В четырехтактном двигателе силовые нагрузки на поршневой палец резко изменяются как по величине, так и по направлению, а в двухтактном только по величине. В обоих случаях поршневые пальцы испытывают ударный характер приложения нагрузки в условиях ограниченной смазки. Поршневые пальцы должны иметь по возможности меньшую массу, а по конструктивным соображениям их выполняют с ограниченным сечением и малыми опорными поверхностями. Это порождает в пальцах большие напряжения, значительные удельные давления на опорных поверхностях шарнирного соединения. Поэтому их изготавливают в виде полого цилиндра с небольшой толщиной стенок одинакового сечения по оси. Поршневой палец должен быть прочным, легким и износостойким. Пальцы изготавливают из высококачественной низкоуглеродистой стали после цементации и закалки ТВЧ на твердость 55-62 HRC с последующим отпуском. В особенно напряженных двигателях применяют дорогостоящие хромистые легированные стали 18ХГТ, 12ХНЗА, 20ХГТР, 20ХНМ, 20Х2Н4А.

После химико-термической обработки материал пальца с внутренней стороны стенок сохраняет вязкие свойства, хорошо сопротивляется ударным нагрузкам, а наружный закаленный слой приобретает повышенную износостойкость. Затем тщательно шлифуют, полируют с тем, чтобы на ра-

бочей поверхности не остались следы обработки, вызывающих концентрацию опасных для прочности местных напряжений.

К отмеченным недостаткам цементируемых сталей следует отнести: высокие требования к шероховатости трущихся поверхностей, резкий переход от высокой поверхностной твёрдости к сердцевине; наличие незначительных микротрещин на цементированных поверхностях при определённых условиях работы, может привести к "шелушению" рабочих поверхностей пальца; процесс цементации является дорогостоящим и энергоёмким, это обуславливается длительностью технологического процесса.

Известен способ закалки ТВЧ, не требующий цементации. При поверхностной закалке ТВЧ нагрев проводится при более высокой температуре, чем при обычной объёмной закалке. Это обусловлено двумя причинами. Во-первых, при очень большой скорости нагрева, температуры критических точек, при которых происходит переход перлита в аустенит, повышаются. Во-вторых, нужно чтобы превращение успело завершиться за очень короткое время нагрева. Чем выше температура, тем быстрее оно происходит. Например, при печном нагреве со скоростью  $2-3^{\circ}/\text{сек.}$  температура нагрева под закалку стали составляет  $840-860^{\circ}\text{C}$ . При нагреве ТВЧ со скоростью  $250^{\circ}/\text{сек.}$  –  $880-920^{\circ}\text{C}$ , а при скорости  $500^{\circ}/\text{сек.}$  –  $980-1020^{\circ}\text{C}$ .

Несмотря на то, что нагрев при высокочастотной закалке проводится до более высокой температуры, чем при обычной, перегрева не происходит. Это объясняется тем, что время высокочастотного нагрева очень короткое, зерно в стали не успевает вырасти. С другой стороны, более высокая температура нагрева обеславливает интенсивное охлаждение при закалке ТВЧ, обеспечивает повышение твердости на 2-3 единицы по Роквеллу, повышенную прокаливаемость, снижение деформаций, а следовательно высокую прочность и износостойкость поверхности детали.

Наряду с этим действует еще один важный фактор, способствующий повышению эксплуатационной прочности деталей, закаленных с помощью ТВЧ. На поверхности появляются сжимающие напряжения благодаря образованию мартенситной структуры. Чем меньше глубина закаленного слоя, тем в большей мере проявляются действия таких напряжений.

Кроме этого закалка ТВЧ дает и другие важные преимущества: высокую производительность, отсутствие обезуглероживания и окисления поверхности детали, почти полное отсутствие окалин, возможность регулирования и контроля термической обработки, легкость регулирования толщины закаленного слоя, минимальное коробление, возможность полной автоматизации производственного процесса. Закалочные агрегаты можно устанавливать непосредственно в поточной линии механического цеха.

В большинстве случаев закалка ТВЧ позволяет заменить легированные стали более дешевыми – углеродистыми. Так при закалке шестерен с мелким зубом, глубокая прокаливаемость даже не желательна, поскольку при этом может произойти сквозная закалка, что вызывает их хрупкость. В таких случаях целесообразно применение углеродистых сталей пониженной прокаливаемости, например, сталь 55ПП. Сталь этой марки применяется после [поверхностного упрочнения](#) [1] с нагревом токами высокой частоты для изготовления деталей, к которым предъявляются требования высокой износостойкости при вязкой сердцевине, работающих при больших скоростях и средних удельных давлениях. Детали из этой стали прогретые по всему сечению, закаливаются на небольшую глубину. Поверхностный слой, имеющий высокую твердость, гарантирует большую контактную прочность и износостойкость при достаточно вязкой сердцевине. При закалке мелкозубных шестерен из такой стали, хотя зуб и прогревается насквозь, однако закаливается он всего на глубину 1-2 мм. Более того, поскольку сердцевина зуба была нагрета до температуры критических точек, а охлаждение ее происходило с умеренной скоростью, примерно как при нормализации, происходит улучшение сердцевины. Она получается более однородной и мелкозернистой, что способствует повышению прочности зуба.

На рис. 1 показана макроструктура закаленной шестерни из стали 55ПП после глубинного индукционного нагрева. Нагрев на частоте 2500 Гц, мощность 140 – 150 кВт, время нагрева 76 секунд, время охлаждения 6 секунд, темп выдачи детали 120 секунд [2].

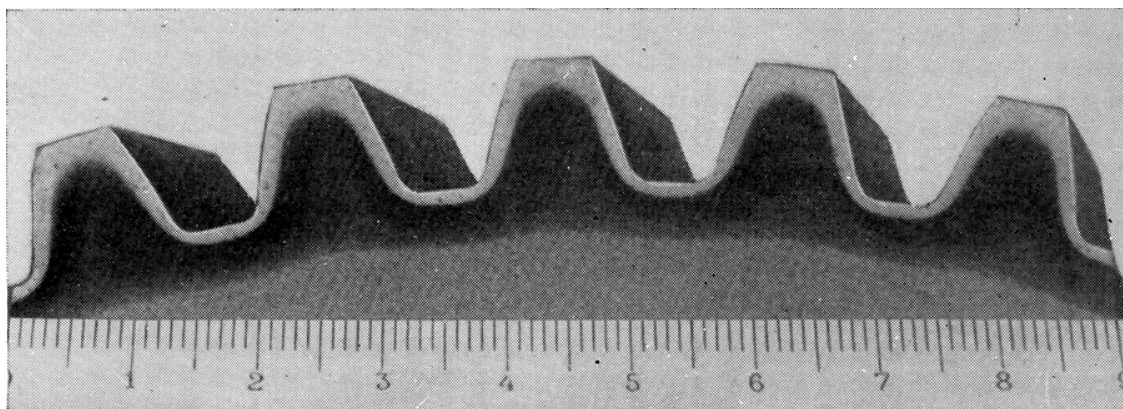


Рис. 1 Макроструктура ведомой шестерни заднего моста из стали 55ПП после индукционной закалки

При закалке нижележащие слои, располагающиеся непосредственно под наружным закаленным слоем, принимают частичную закалку и структура их также улучшается. Тогда твердость при переходе к несколько менее твердой сердцевине снижается сравнительно плавно, что позволяет

использовать стали пониженной прокаливаемости для эксплуатации при более высоких давлениях. После проведения поверхностной высокочастотной закалки, детали подвергают низкому отпуску при температуре 160-200°C.

Такая технология обработки приемлема и для пальцев КШМ из стали 55ПП, поскольку толщина их соизмерима с толщиной среднемодульных шестерен. Сталь 55ПП – качественная конструкционная пониженной прокаливаемости, содержащая 0,55-0,63% С с минимальным количеством примесей, увеличивающих прокаливаемость (0,2 % Mn, ≤ 0,3 % Si, ≤ 0,15 % Cr и ≤ 0,25 % Cu и Ni) [3].

Режим термической обработки: закалка 860°C (скорость индукционного нагрева 30°/сек.), охлаждение водяным душем. Процесс охлаждения после нагрева должен быть интенсивным, так как критическая скорость закалки стали 55ПП равна 1000-2000°/сек., отпуск 180°C, выдержка 1,5 ч.

После закалки индукционным нагревом сталь марки 55ПП имеет более высокий предел прочности, чем цементуемая сталь 12Х2Н4А. Предел прочности при изгибе равен 260 МПа, а у стали 55ПП достигает 300 МПа. При твердости 56-58 HRC у хромоникелевой стали 12Х2Н4А, сталь 55ПП имеет 58-62 HRC. В цементованном состоянии 12Х2Н4А имеет ударную вязкость 4 - 5 Дж/см<sup>2</sup>, а сталь 55ПП - 8 – 14 Дж/см<sup>2</sup> [3].

Из сравнения видно, что сталь 55ПП по всем показателям оптимальнее стали 12Х2Н4А, на этом основании рекомендовано применение стали 55ПП, как более соответствующую условиям работы взаимодействующих поверхностей, при этом технология изготовления менее энергоемкая, так как исключается операция цементации.

**Выводы.** Обоснован выбор стали и способ термической обработки углеродистых сталей, позволяющий выбрать в качестве материала пальца КШМ углеродистую сталь 55ПП пониженной прокаливаемости, обладающая после закалки ТВЧ более высокими показателями механических свойств при сравнительно низкой стоимости металла.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Статья по теме поверхностного упрочнения. [Электронный ресурс]. URL: [http://materiology.info/ref/poverhnostnogo\\_ypro2neni9.html](http://materiology.info/ref/poverhnostnogo_ypro2neni9.html). (Дата обращения: 05.03.2014).
2. Головин Г.Ф. Технология термической обработки металлов с применением индукционного нагрева. – Л.: Машиностроение, 1990. – 87 с.
3. Минкевич А.Н. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. 2 изд., М.: Машиностроение, 1965. – 493 с.