

УСТАНОВКА ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ИНДУКЦИОННЫМ НАГРЕВОМ ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Жучинский Л. А., Рашковский А. С. (НУК, г. Николаев, Украина)

There have been based advantages of steel and cast iron products inductive processing and described aggregate designed for these products high-frequency current hardening.

Введение. Одной из самых актуальных задач современного машиностроения является повышение надежности и долговечности деталей в условиях возрастающих удельных нагрузок. Поэтому материалам, используемым в машиностроении, предъявляется целый комплекс требований – обеспечение сопротивляемости статическим и динамическим нагрузкам, изнашиванию и др. К числу таких деталей относятся гильзы двигателей внутреннего сгорания (ДВС), изготовленные из чугуна или стали.

Гильзы цилиндров работают в сложных динамических условиях нагружения и изнашивания [1]. Повышение их износостойкости и долговечности относится к важнейшим проблемам современного двигателестроения. Для повышения износостойкости гильз применяются различные способы упрочнения, среди которых наиболее совершенный – повышение твердости рабочей поверхности путем индукционной обработки. Восстановление изношенных гильз этим способом (чугунных и стальных) представляет собой большой практический интерес [2, 3].

Срок службы ответственных деталей машин и механизмов определяется износостойкостью рабочих поверхностей и значением предела усталости. Вторая характеристика качества приобретает значение по мере увеличения удельных нагрузок и скоростей. Износостойкость детали зависит от нескольких факторов, из которых главным является твердость трущихся поверхностей. Износостойкость связана с увеличением твердости. Повышение твердости стальных деталей достигается рациональным выбором марки стали или чугуна и способом их термической обработки. Наиболее простым видом термической обработки, обеспечивающим увеличение твердости, является объемная закалка, применяемая для деталей, работающих при отсутствии ударных нагрузок. Для деталей, испытывающих в процессе работы ударные или циклические знакопеременные нагрузки, объемная закалка не применяется ввиду резкого возрастания хрупкости и понижения усталостной прочности. Сочетание высокой твердости в поверхностном слое и вязкости основного сечения (сердцевины) детали достигается с помощью применения поверхностных способов упрочнения и, в частности, индукционной поверхностной закали. Способ индукционной поверхностной закали основан на использовании токов высокой частоты (ТВЧ) для быстрого нагрева поверхности детали или отдельного участка ее до закалочной температуры [4].

Практика показывает, что внедрению индукционной поверхностной закали детали, работающей в условиях циклических знакопеременных нагрузок (шестерни, гильзы цилиндров, поршневые кольца т. д.) должны предшествовать всесторонние лабораторные исследования усталостной прочности и последующие эксплуатационные испытания.

Ввиду высокой теплопроводности стали поверхностная закалка при использовании токов высокой частоты возможна лишь в том случае, когда скорость нагрева составляет несколько тысяч градусов в минуту вместо 5...25 град/мин при печном нагреве. При нагреве под закалку деталь (например, гильза цилиндра)

находится в высокочастотном магнитном поле, создаваемом током высокой частоты, проходящем по проводнику (индуктору). В результате электромагнитной индукции в детали возникают вихревые токи. Эти токи концентрируются в поверхностном слое, что способствует достижению больших скоростей нагрева в зоне, подлежащей упрочнению. В отличие от нагрева в электрических печах при индукционном нагреве переход электрической энергии в тепловую происходит в самом закаливаемом изделии.

Способ индукционной поверхности закалки имеет следующие преимущества по сравнению с другими способами упрочнения:

- большая скорость нагрева позволяет достичь высокой производительности установки;
- однородность качества закалки;
- обеспечение поточности производства;
- минимальные энергетические затраты;
- незначительная деформация при закалке[5].

Благодаря перечисленным достоинствам этот способ находит широкое применение в промышленности. Применение высокочастотной закалки дает наибольший технико-экономический эффект. Качество деталей, подвергнутых высокочастотной закалке, во многом зависит от правильности выбранных режимов нагрева и охлаждения. При внедрении закалки токами высокой частоты особое внимание должно уделяться вопросам подбора оптимальных режимов нагрева и охлаждения. Получение структуры металла, обладающей высокой твердостью неразрывно связано с протеканием аустенитного превращения в стали или чугуна. Температура, при которой также происходит превращение, соответствует критической точке A_{C3} . Для большинства среднеуглеродистых сталей точка A_{C3} лежит в интервале 770...810 °C.

В процессе аустенитного превращения различают три стадии:

- зарождение и рост зерна аустенита;
- растворение цементита (Fe_3C) и превращение альфа-железа ($\alpha-Fe$) в аустенит;
- выравнивание концентрации углерода в аустените.

При медленном печном нагреве полнота превращения в каждой фазе обеспечивается выдержкой при температуре, превышающей точку A_{C3} на 35...50 °C. Время выдержки при печном нагреве колеблется от нескольких минут до нескольких часов.

При использовании скоростного индукционного нагрева время выдержки в несколько тысяч раз меньше и обычно измеряется долями или несколькими секундами. Для того, чтобы добиться кратковременности выдержки при индукционном нагреве необходимо увеличить температуру нагрева под закалку. По данным некоторых исследований увеличение температуры по сравнению с печным нагревом составляет 50...70 °C. При индукционном нагреве теплота генерируется непосредственно в слое металла и скорость аустенитного превращения резко возрастает. При быстром охлаждении аустенита возникает новая структурная составляющая – мартенсит. Характерным для мартенситной структуры является игольчатость строения и высокая твердость, а, следовательно, и износостойкость. Необходимым условием для получения мартенситной структуры при закалке является обеспечение скорости охлаждения, превышающей критическое значение для данной марки стали или чугуна. Критическая скорость охлаждения у различных марок стали отличается. Для стали 45 скорость охлаждения равна 200...300 °C/с, для стали 45X – 100...120 °C/с, а для стали 35Г2 и 45Г2 – 50 °C/с. Мартенсит является пересыщенным твердым раствором углерода в альфа-железе. Температура, при которой аустенит начинает превращаться в мартенсит,

соответствует мартенситной точке, положение которой зависит от химического состава стали. Чем выше содержание углерода в аустените, тем при более низкой температуре начинается мартенситное превращение.

Важной характеристикой закаленной стали является ее твердость, которая зависит от нескольких факторов, основным из которых является содержание углерода. При использовании индукционного нагрева твердость закаленной стали на 2...5 единиц выше, чем при обычной закалке.

Одним из достоинств индукционной поверхностной закалки является возможность точной дозировки количества электрической энергии, передаваемой в деталь в процессе нагрева, и в автоматизации процесса. Это позволяет получить стабильные результаты. Получению стабильного качества способствуют также особенности процесса охлаждения, а именно:

- применение душевого охлаждения;
- вращение детали при закалке;
- концентрация нагрева в поверхностном слое детали при сохранении

холодной сердцевины.

Действие всех перечисленных факторов обуславливает увеличение скорости и равномерность охлаждения.

Целью настоящей статьи является обоснование преимуществ индукционной обработки изделий токами высокой частоты и ознакомление с разработанной закалочной установкой.

Основное содержание и результаты работы. Разработана технологическая закалочная установка (ТЗУ-1), предназначенная для дифференциального упрочнения и повышения износостойкости гильз двигателей внутреннего сгорания с применением индукционного нагрева ТВЧ. Общий вид установки показан на рисунке. В состав установки входят: круговой индуктор; спрейное устройство для охлаждения гильз при закалке; система охлаждения индуктора; пульт управления работой установки; кабель 8-жильный с разъемами для подачи питания напряжением 220 В (переменного тока) на установку и 36 В (постоянного тока) на редуктор.

Технические характеристики установки:

Температура нагрева гильзы, °С:	
у нижней мертвой точки	600
у верхней мертвой точки	1050
Скорость перемещения гильзы относительно нагревающего индуктора, мм/с:	
у нижней мертвой точки	5,5
у верхней мертвой точки	0,57
Скорость вращения гильзы при закалке, об/с:	1,5...2,0
Глубина поверхностного нагрева, мм:	1,0...2,5
Частота генератора тока высокой частоты, Гц:	66000...100000
Мощность генератора тока высокой частоты, кВт:	100...120
Оптимальная температура закалки, °С:	950...1050
Температура низкого отпуска гильзы, °С:	
чугунной	160...200
стальной	620...640
Уменьшение внутреннего диаметра гильзы (осаживание), мм:	
у нижней мертвой точки	0,1
у верхней мертвой точки	1,0
Увеличение твердости зерна гильз после термообработки ТВЧ, ед. НВ:	
в стальной гильзе	6010

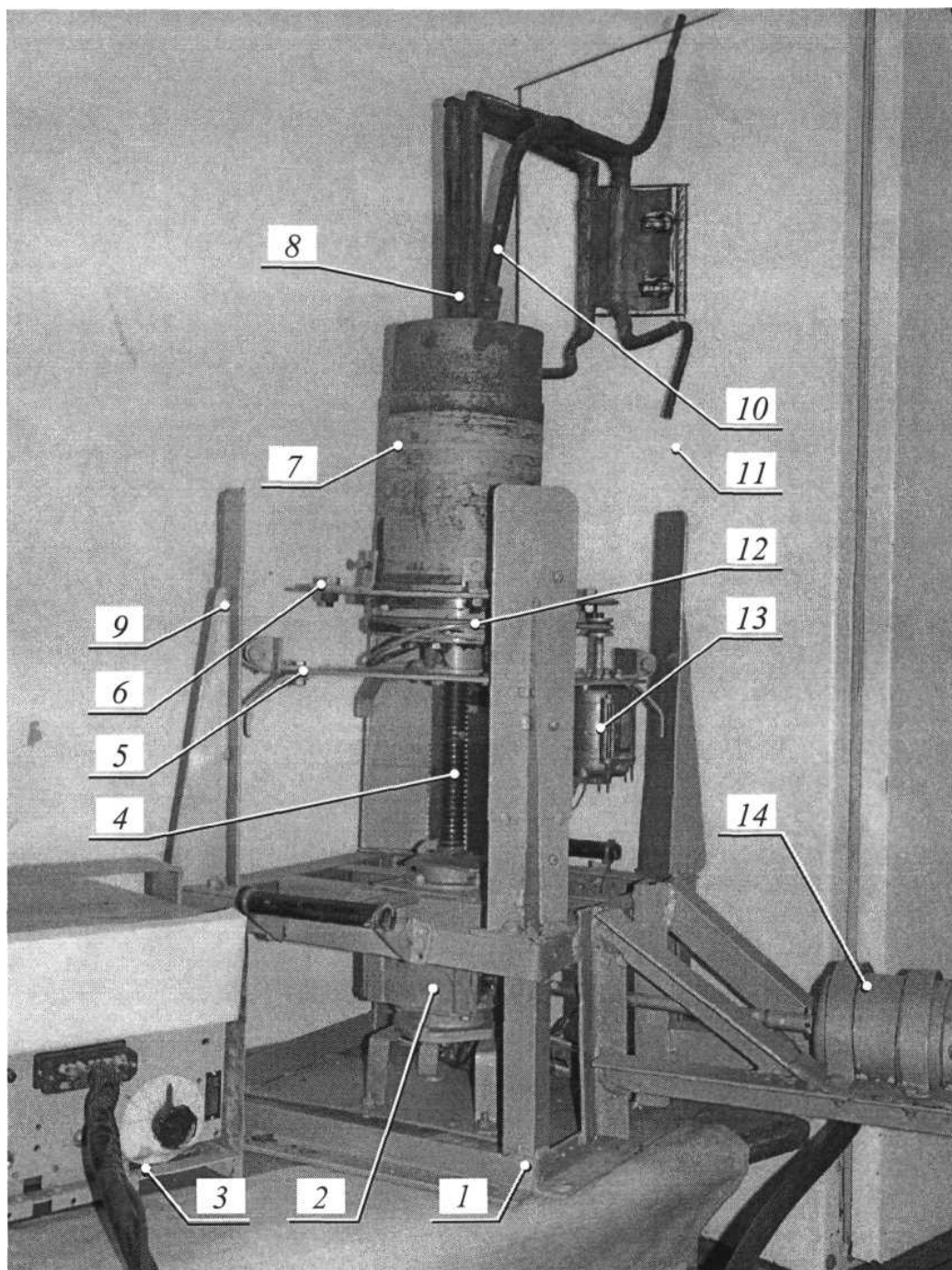


Рис. 1. Технологическая закалочная установка (ТЗУ-1) для
закалки цилиндрических изделий

1- корпус установки; 2- редуктор с передаточным числом $n = 80$; 3- пульт управления установкой; 4- винт ходовой (трапецеидальный); 5- нижняя неповоротная платформа; 6- верхняя поворотная платформа; 7- закаливаемое изделие (гильза ДВС); 8- индуктор; 9- направляющие стойки; 10-спреер; 11- генератор токов высокой частоты; 12- ременная передача вращения платформы; 13- эл/двигатель вращения верхней платформы; 14-эл/двигатель постоянного тока для вращения ходового винта.

в чугунной гильзе

4150

Увеличение твердости зерна гильзы после термообработки ТВЧ, в сравнении с первоначальной твердостью, число раз:

в стальной гильзе

2,7

в чугунной гильзе

2,4

Из практического опыта известно, что максимальный износ гильзы (из чугуна или стали) начинается с верхней мертвой точки на участке, равном, примерно, 1/3 высоты гильзы, а в районе нижней мертвой точки гильзы износа практически нет.

Рассмотрим поверхностную высокочастотную закалку чугунной гильзы двигателя внутреннего сгорания. Чугунные гильзы имеют габариты: внутренний диаметр 130 мм, толщина стенки – 8...12 мм, высота – 290 мм. Гильза изготовлена методом литья из серого низколегированного чугуна. Для получения наибольшей износостойкости, а, следовательно, и максимального срока службы гильза должны проходить термическую обработку, позволяющую получить твердость рабочей поверхности не ниже 40 единиц HRC. Поверхностная индукционная закалка гильзы с последующим низким отпуском имеет существенные преимущества по сравнению с объемной закалкой. Коробление гильзы, т. е. увеличение эллиптичности внутреннего отверстия, в 2-3 раза меньше, чем при объемной закалке. Это позволяет резко сократить припуски на последующую механическую обработку. Твердость и износостойкость гильзы, закаленной путем нагрева ТВЧ, выше, чем у гильзы, прошедшей объемную закалку.

Гильзы цилиндров закаливаются ТВЧ только непрерывно-последовательным способом, что позволяет ограничиться использованием генераторов мощностью 200 кВт (или двумя генераторами мощностью по 100 кВт). В отличие от радиочастот применяются индукторы с концентрическим токоподводом и железным магнитопроводом.

Разработанная установка ТЗУ-1 обеспечивает выполнение технических требований к закалке гильз. Гильза, расположенная на верхней планшайбе, осуществляет вращательные движения со скоростью около 1...1,5 об/с. Вращение гильзы при индукционном нагреве позволяет обеспечить равномерный нагрев и получить равномерный закаленный слой ее внутреннего зеркала. Нижняя планшайба осуществляет переменное опускание или подъем гильзы при нагреве. Индуктор при этом закреплен неподвижно. С помощью пульта управления работой установки изменяют скорость перемещения гильзы относительно индуктора. Скорость перемещения зависит от удельной мощности генератора (кВт/см²), площади индуктирующего провода и периметра кольцевого индуктора. При опускании гильзы относительно индуктора она нагревается. При этом температура нагрева изменяется по кривой, подобной параболе. Значение скорости опускания гильзы при закалке изменяется от 0,5 мм/с до 5,5 мм/с, температура нагрева зеркала – от 950 °С до 1050 °С.

Рекомендуется не закаливать гильзы на участке 20...30 мм от торцов. На кольцевом индукторе ниже индуктирующего провода смонтирован спреер для подачи воды, которая попадает на нагретое зеркало гильзы в процессе ее закалки. При температуре 250...300 °С производят низкий отпуск для снятия остаточных напряжений.

Заключение. Обосновано преимущество индукционной обработки изделий ТВЧ, описан состав разработанной установки, ее основные характеристики и область применения. Установка изготовлена и испытана на предприятиях г. Николаева. Она может быть использована на предприятиях, занимающихся изготовлением и ремонтом ДВС с целью увеличения срока их службы путем повышения прочности, твердости и

износостойкости. Технология повышения износостойкости гильз позволяет увеличить срок эксплуатации двигателей внутреннего сгорания.

Список литературы. 1. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Учебник / Фомин Ю. Я., Горбань А. И., Добровольский В. В., Лукин А. И. и др. – Л: Судостроение, 1989. – 344 с. 2. Асташкевич Б. М. Износостойкость чугуновых втулок цилиндров транспортных дизелей. Двигателестроение, 1986. – № 2. – С. 32-36. 3. Григорьев В. М., Лазарева В. А., Маслов Ю. В. Освоение технологии закалки ТВЧ внутренней поверхности втулок цилиндров дизеля ЧН 18/22. Двигателестроение, 1990. – № 6. – С. 41-42. 4. Декларац. пат. № 9578 Україна, С21Д1/10, Спосіб термообробки внутрішніх поверхонь циліндричних виробів / Жучинський Л. А. та інші. Заявл. 27.12.2004; Опубл. 17.10.05. – К.: Промислова власність, 2005. – № 10. 5. Вичев А. Ф., Жучинський Л. А., Ивахненко Н. Н., Стоян С. Л. Оценка остаточных деформаций гильз ДВС при их восстановлении нидукционной термообработкой // Научно-технический сборник «Судовое энергетическое газооборудование». – г. Николаев: НПКГ «Зоря Машпроект», 2004, – № 3. – С. 354-359. 6. Декларац. пат. № 11719 Україна, С21Д1/10, Пристрій для термообробки внутрішніх поверхонь циліндричних виробів / Жучинський Л. А. та інші. Заявл. 20.05.2005; Опубл. 16.01.06. – К.: Промислова власність, 2006. – № 1.

Сдано в редакцию 31.01.07

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕНОСА В СОПРЯЖЕНИИ «ЦИЛИНДР-ПОРШЕНЬ» ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Заяш П.И. (Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», г. Гродно, Беларусь)

Considered thermal loading and the estimation of distribution of temperatures of the piston of the diesel engine with the chamber of combustion of type CNIDI is lead within the limits of two-dimensional dissymmetric model by a method of final elements at quasistationary conditions of heat exchange.

1. Введение

Одним из основных современных направлений совершенствования двигателей внутреннего сгорания (ДВС) является увеличение их литровой мощности. Как правило, это достигается применением наддува или увеличением частоты вращения и ведет к росту тепловых и механических нагрузок на детали двигателя, в том числе и поршня. Для обеспечения его работоспособности применяют различные конструктивные решения: вставку под верхнее компрессионное кольцо, принудительное охлаждение поршня маслом, применение функциональных покрытий на различных поверхностях поршня (теплозащитных, противоизносных, антифрикционных, приработочных). Однако применение покрытий, которые часто представляют собой керамические материалы, полимерные композиты или металлические пленки (т.е. материалы, отличные по свойствам от основного материала поршня – алюминиевого сплава), может существенно изменить теплоотвод, а, следовательно, и температурную нагруженность этой важной детали цилиндра-поршневой группы (ЦПГ).

Цель исследований состояла в определении влияния теплоотвода через поверхности поршня, на которые обычно наносятся функциональные покрытия, на его температурную нагруженность при различных режимах эксплуатации.

2. Основное содержание и результаты работы