

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ

А.Г. Околович

Основным материалом для изготовления поршневых колец служит чугун. По строению своей металлической основы он близок к стали, но чугун весьма существенно отличается от неё своим строением. Его металлическая основа пронизана микропорами, заполненными графитом. Наличие микропор в чугуне несколько снижает его механические свойства по сравнению со сталью, но вместе с тем делает более износостойким, т.к. свободные включения графита служат своеобразной смазкой сопряжённых поверхностей.

Однако это преимущество в поршневых кольцах не реализуется в эксплуатации двигателей, так как рабочие поверхности колец для повышения износостойкости покрываются хромом толщиной в 0,8 – 1,5 мм, а после износа хромированного слоя кольца практически непригодны к работе.

При эксплуатации двигателя тепловая нагрузка и механические сотрясения вызывают изменения размера замка и пропорциональное снижение упругости, вызываемое износом кольца по рабочей поверхности, тогда радиальное давление пропорциональное кубу толщины кольца с уменьшением последней чрезвычайно быстро снижается. Так, например, уменьшение радиальной толщины кольца с 3 до 2,9 мм уже дает снижение упругости на 10 %. В большинстве случаев сохранение упругости колец, определяющее эксплуатационную надёжность двигателя, имеет гораздо большее значение, чем их поведение при износе. Исключения представляют только стальные кольца, которым упругость была задана деформационным упрочнением в холодном состоянии.

Маслосъёмное кольцо из стального проката с перфорированными пазами обеспечивает высокую радиальную податливость (момент инерции сечения кольца из проката в 3-5 раз меньше, чем у высокопрочного легированного чугуна) за счёт уменьшения толщины и ширины рабочих поясков, что позволяет существенно снижать удельный расход масла (до 0,2 % от расхода топлива).

Для получения сложного профиля нами разработана технология волочения-прокатки стальной проволоки из стали 20Х13 Ø 5-6 мм. Сталь относится к мартенситному классу, обладает стойкостью против коррозии в атмо-

сферных условиях, в слабых растворах кислот, солей и в других слабоагрессивных средах. Применяется для изделий, работающих на износ в качестве упругих элементов.

Переходом волочения называется степень изменения размеров поперечного сечения металла при прохождении через одну волоку. Обычно процесс волочения ведут в несколько переходов, при которых поперечные сечения заготовки, подвергающейся волочению, постепенно приближаются к сечению готового изделия, в зависимости от многих факторов:

- прочностных и пластических характеристик обрабатываемого металла;
- сложности конфигурации поперечного сечения изделия, вида смазки, способа ее подвода к деформационной зоне;
- продольного профиля волочильного канала и ряда других факторов.

Процесс волочения следует вести при оптимальных условиях, т.е. с минимальным числом переходов, при применении эффективных смазок, высококачественного волочильного инструмента, хорошо отрегулированного волочильного оборудования.

Иногда количество переходов волочения обусловлено достижением определённой деформации. Это имеет место либо при необходимости получения изделий с заданными прочностными характеристиками, либо при особо высоких требованиях к поверхности, т.к. увеличения числа переходов способствует удалению мелких поверхностных дефектов и снижению шероховатости поверхности.

Важно, что маслосъёмные поршневые кольца после деформации и отпуска имеют существенно большую усталостную прочность, чем после обычной термической обработки.

Степень деформации (ϵ , %), температура отпуска и его длительность – взаимосвязанные процессы, от которых зависит уровень механических свойств.

Для достижения этого технического результата в способе изготовления стальных маслосъёмных поршневых колец, включающем пятикратное деформационное упрочнение протягиванием проволоки через профильные волочильные ролики с обжатием

35-40 %, 20-25 %, 10-15 %, 15-20 %, 6-8 % соответственно, причем после первого, и третьего деформационных упрочнений осуществляют рекристаллизационный отжиг при температуре 660-680 °С в течение 1 ч, после чего выполняют пробивку перфорированных пазов, протягивание проволоки через волоочильные ролики (калибровка) с обжатием 6-8% и навивку на оправку с натяжением, затем производят термофиксацию на оправке при температуре 500 °С в течение 1 ч, разрезку на оправке на отдельные кольца, установку этих колец в гильзу и термостабилизацию в гильзе при температуре 550 °С в течение 1 ч.

Кроме того, перед деформационным упрочнением производят очистку проволоки в электролитной плазме при движении проволоки к профильным волоочильным роликам с одновременным подогревом до 80-100 °С.

В результате пятикратного деформационного упрочнения протягиванием проволоки через профильные волоочильные ролики обеспечиваются высокий предел прочности и достаточная; пластичность стали вследствие увеличения числа дефектов строения при изменении характера их распределения и измельчения пластинок феррита и цементита. В течение предлагаемого деформационного упрочнения межфазные границы размываются – плотность дислокации в ферритных пластинках растет, и они постепенно формируют ячеистую субструктуру. Образованию ячеистой субструктуры феррита способствуют пластинки цементита, поскольку межфазная граница является источником дислокации. Кроме того, сплошные пластинки цементита или их фрагменты стабилизируют субструктуру. Таким образом, основной причиной упрочнения стали является формирование вышеописанных микроструктуры и субструктуры в процессе холодной пластической деформации. Деформационное упрочнение протягиванием проволоки через профильные ролики производят пятикратно, так как свойства стали после холодной деформации зависят не только от величины общей или суммарной деформации, но и от величины частных обжатий, т.е. деформации за один проход при волочении. Чем меньше эти обжатия, тем медленнее нарастает прочность, тем выше степень суммарной деформации и тем выше абсолютная величина механических свойств

Известно, что величину частных обжатий назначают 10-12 %, а для предотвращения появляющихся винтовых трещин – 5-8 %

Обжатие, составляющее 35-40 %, при первом деформационном упрочнении протягиванием проволоки через профильные волоочильные ролики является оптимальным для получения высокой твердости HRC 35-40 и ориентированной структуры деформированного металла. При обжатии менее 35 % не достигается твердость HRC 35, при обжатии более 40 % твердость увеличивается до HRC 45, что сопровождается возникновением очагов разрушения.

Важнейшим контролируемым параметром поршневых колец является твердость. По ней можно судить о качестве материала, степени его износостойкости, результате термообработки и о структуре материала. Контроль твердости проводится по методу Роквелла на трех участках плоской поверхности кольца по средней линии.

Обжатие, составляющее 20-25 %, при втором деформационном упрочнении протягиванием проволоки через профильные волоочильные ролики является оптимальным для получения сложного по конфигурации профиля маслосъемного кольца с твердостью HRC 26-28.

Обжатие, составляющее 10-15 %, при третьем деформационном упрочнении протягиванием проволоки через профильные волоочильные ролики является оптимальным для формирования профиля маслосъемного кольца с твердостью HRC 35-37.

Обжатие менее 10 % не достаточно для деформационного упрочнения на твердость HRC более 35, а обжатие более 15 % опасно из-за возникновения микротрещин вследствие увеличения твердости более HRC 37.

Обжатие, составляющее 15-20 %, при четвертом деформационном упрочнении протягиванием проволоки через профильные волоочильные ролики является оптимальным для формирования профиля маслосъемного кольца, так как при этом твердость возрастает незначительно – до HRC 28-32, которая обеспечивает и деформационное упрочнение, и получение заданного профиля. Обжатие менее 15 % не дает достаточного упрочнения, при обжатии более 20 % нарушаются контуры профиля кольца.

Обжатие, составляющее 6-8 %, при пятом деформационном упрочнении протягиванием проволоки через профильные волоочильные ролики является оптимальным вследствие назначения калибрующего, то есть получения готового профиля без дальнейшей механической обработки.

При обжати менее 6 % происходит неравномерная калибровка профиля по сечению. При обжати более 8 % возможно "шелушение" поверхности профиля вследствие наклепа.

Выполнение рекристаллизационного отпуска при температуре 660-680 °С в течение 1 ч необходимо для понижения твердости до HRC 20-22 и повышения пластичности во избежание "растрескивания" при последующем волочении. Кроме того, после отпуска при 660-680 °С достигаются высокие степени обжати, связанные с получением ориентированной структуры, что способствует равномерной деформации при волочении.

Отпуск при температуре менее 660 °С недостаточен для снижения твердости, а отпуск при температуре более 680 °С приводит к укрупнению деформированной структуры без снижения твердости.

Термофиксация на оправке профиля стального маслоъемного поршневого кольца при температуре 500 °С в течение 1 ч является оптимальной, так как нагрев металла способствует залечиванию деформационных дефектов. Этот процесс носит диффузионный характер. Известно, что еще до температур рекристаллизации протекают процессы отдыха и полигонизации, которые приводят к возврату физических и механических свойств.

Нагрев при температуре менее 500 °С недостаточен для протекания процессов отдыха, а при температуре 500 °С сопровождается полигонизацией, т.е. упрочнением и стабилизацией структуры.

Термостабилизация в гильзе стальных маслоъемных поршневых колец при температуре 550 °С в течение 1 ч является оптимальной для протекания процессов полигонизации, т.е. выстраивания дислокационных стенок, повышения механических свойств деформированной структуры, т.к. окончательные свойства пружин определяются условиями отпуска, в процессе которого реализуются потенциальные возможности для повышенного сопротивления малым пластическим деформациям и всего комплекса прочностных свойств. Термостабилизация при температуре выше 550 °С приводит к перестариванию структуры стали и снижению упругих свойств колец.

Подогрев проволоки перед первым деформационным упрочнением при очистке в электронной плазме до 80-100 °С является "теплым" волочением, облегчающим дефор-

мацию без разрушения вследствие повышения пластичности стали.

Подогрев при температуре менее 80 °С не обеспечивает возникновения очагов разрушения в результате дробления цементитных пластинок, расположенных в упрочненной дефектной матрице, сниженная пластичность которых уже не может компенсировать этих хрупких разрывов цементита. Для устранения этих локальных участков рекомендуется "теплое волочение"

Подогрев при температуре более 100 °С опасен выделением η-фазы и охрупчиванием стали.

Термофиксация при 500 °С требует натяжения ленты на оправку не только для фиксации проволоки по диаметру, но и для усиления эффекта динамического старения во время отпуска, когда предел текучести ($\sigma_{0.2}$) и предел упругости ($\sigma_{0.02}$) возрастают на величину от 100 до 200 МПа по сравнению с обычным отпуском.

Главным достоинством динамического старения (или отпуска под нагрузкой) является то, что структурное и напряженное состояние оказывается таким, каким оно будет в детали в условиях ее эксплуатации. Это определяет большую стабильность свойств и повышение надежности. Без динамического старения в изделиях под действием нагрузки в условиях эксплуатации будут наблюдаться изменения структурного состояния и свойств, которые заранее очень трудно прогнозировать.

Термостабилизация (550 °С, 1 час). Во время отпуска при термофиксации и термостабилизации происходит процесс полигонизации – упорядочения дислокационной субструктуры с малоугловыми границами.

Известно, что деформационное упрочнение при волочении объясняется увеличением количества дислокаций от 10^4 до 10^{10-12} и ростом твердости. Значительное измельчение зерен при высокой плотности дислокаций и является главной причиной упрочнения.

Таким образом, во время нагрева до 550 °С и выдержки развивается процесс полигонизации – упорядочение дислокационной субструктуры, определяющий структурную стабильность и долговечность в эксплуатации. Кроме того, достигается повышение предела текучести, упругости и выносливости, а также пластичности. Упрочнение происходит в результате закрепления подвижных дислокаций атомами примесей в дислокаци-

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ПОРШНЕВЫХ КОЛЕЦ

онных стенках, возникающих при полигонизации деформированного металла.

Однако, при увеличении времени или повышении температуры происходит укрупнение субзерен и снижение прочности.

Наклепанный металл находится в термодинамически неустойчивом состоянии. При нагреве повышается подвижность атомов, начинают развиваться процессы, приводящие металл к равновесному состоянию.

Если деформированную в холодном состоянии сталь нагревают до высоких температур, то в ней происходят не только структурные изменения, но и ее свойства.

При температурах между 50 °С и 400 °С в стали выделяются карбиды и нитриды, которые влияют на ее механические свойства. Эти выделения декорируют стенки дислокаций.

При температурах около 480 °С микроструктура, видимая в оптическом микроскопе, не изменяется, но твердость начинает падать и в то же время начинают изменяться другие физические свойства; это – стадия возврата.

При 500 °С в слабдеформированных зернах видна сетка субграниц; это – явление полигонизации.

При повышении температуры на несколько градусов появляются очень мелкие новые зерна и начинают расти, это – рекристаллизация.

При более высоких температурах (700 °С) и более продолжительном нагреве рекристаллизованные зерна растут, причем этот рост тем интенсивнее, чем меньше размер зерна после деформации.

При выдержках ниже точки A_1 происходит сфероидизация цементита.

При длительных выдержках выше точки A_1 протекает образование новых кристаллов, а именно, аустенитных зерен и одновременно растворение цементита (карбидов).

Выше точки A_3 аустенит является мелкозернистым. Эти зерна могут затем расти как после деформации при высокой температуре, так и без деформации. Этот рост может быть правильным или беспорядочным и сопровождаться дальнейшим изменением распределения и формы выделения.

ВЫВОДЫ

1. Разработанная технология позволяет выпускать поршневые кольца для дизелей, бензиновых ДВС, компрессоров и др. устано-

вок в диапазоне \varnothing 60-180мм. Достигается повышение работоспособности цилиндропоршневой группы в 1.5-2.0 раза по сравнению с чугунными кольцами.

2. Наша технология базируется на оборудовании, позволяющем методом волочения – прокатки получать все виды профилей для производства колец современных ДВС. Термические процессы, упрочнение рабочих поверхностей различными способами (карбонитрирование, ионно-плазменное напыление, ионная имплантация – поверхностная пластическая деформация, обработка в электронной плазме) обеспечивает производство качественных колец в соответствии с требованиями ДИН (европейская классификация) и основных требований ЕВРО – 3.

ЛИТЕРАТУРА

1. Энглиш, К. Поршневые кольца: т. 1-2. Теория изготовления, конструкция и расчёт / К. Энглиш. – М.: Машгиз, 1961. – 583 с.
2. Молдаванов, В. П. Производство поршневых колец ДВС / В.П. Молдаванов. – М.: Машиностроение, 1980. – 190 с.
3. Потёмкин, К. Д. Термическая обработка и волочение высокопрочной проволоки / К. Д. Потёмкин. М.: Metallurgizdat 1959, М.: Машиностроение, 1963.
4. Рухштадт, А. Г. Пружинные стали / А.Г. Рухштадт. – М.: Metallurgiya, 1971. – 495 с.
5. Пат. 2318645 Российская Федерация С2 В23Р15/06. Способ изготовления стальных масляемных поршневых колец / Околович Г.А., Карпов А.П., Околович А.Г.; опубл. 10.03.2008, Бюл. №7.
6. Коткис, М. А. Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallorv / М.А. Коткис, А.В. Скобко, 1968. – 52 с.
7. Кальнер, В. Д. Специальные стали и сплавы (УНИИМ) / В.Д. Кальнер. – Metallurgizdat, 1960. – Вып.17. – 419 с.
8. Богатов, А. А., Ресурс пластичности металлов при обработке давлением / А.А. Богатуров, О.И. Мижирицкий, С.В. Смирнов. – М.: Metallurgiya, 1984. – С. 413.
9. Потёмкин, К. Д. В сборнике «Современная технология термической обработки деталей машин» // ЛДНТП, 1965, Вып.2. – С.36.
10. Новиков, И. И. Теория термической обработки металлов / И.И. Новиков. – М.: Metallurgiya, 1978. – 390 с.
11. Пат. 2341362 Российская Федерация, МПК⁷ с1. Способ изготовления стальных поршневых колец / Околович Г.А., Карпов А.П., Околович А.Г., Карпов С.В.; опубл. 20.12.2008.