

УДК 621.43

*А.В. Жаров, В.Г. Новиков, А.А. Павлов***ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ ПРИ ТРЕНИИ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СОПРЯЖЕНИЯ ВЕРХНЕЕ КОМПРЕССИОННОЕ КОЛЬЦО – ГИЛЬЗА ЦИЛИНДРА АВТОМОБИЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ**

Высокие температуры верхнего компрессионного кольца (ВКК) и гильзы цилиндра (ГЦ), несовершенная смазка, особенно в зоне максимальных износов и воздействие абразивных частиц, усугубляющих условия трения способны привести к структурным превращениям в тонких поверхностных слоях трущихся деталей. Определяющее влияние на образующиеся вторичные структуры оказывает время контактного взаимодействия сопряженных микронеровностей [1]. Скорости нагрева и охлаждения для участков локального контакта могут достигать очень высоких значений. Так, по данным Б.Д. Грозина [2] при импульсном подводе тепла скорость нагрева слоя толщиной 100 мкм равна $4 \cdot 10^5 \dots 10^4$ °C/с, скорость охлаждения – $10^3 \dots 10^4$ °C/с. На них влияют содержание углерода, исходная структура (перлит, тростит, сорбит или мартенсит), а также теплопроводность. Особенностью процессов, протекающих при этом, является образование специфических структур: вторичного аустенита, образующегося из исходной структуры при трении (аустенита трения) и вторичного мартенсита – мартенсита трения. По существу, структура, идентифицируемая при исследовании в оптическом микроскопе как аустенит трения это аустенито-мартенсито-карбидная структура со значительным преобладанием аустенита.

Количество аустенита в поверхностных слоях определяется структурой и химическим составом, концентрацией углерода, давлением на контакте. Существует некоторое пороговое значение давления, ниже которого аустенит трения не образуется [3]. Стабилизация его происходит, главным образом, при импульсном (однократном или циклическом) воз-

действии температуры, т.е. при резко нестационарном тепловом режиме трения или в условиях, когда стационарность теплового режима оказывается нарушенной (например, вследствие плохой приработки трущихся поверхностей).

Рентгенография поверхности трения [1] в процессе изнашивания показало, что максимальные температуры возникают не одновременно по всей поверхности контакта, а на отдельных участках («горячие пятна»). При этом, в результате точечной закалки возможна аустенизация микрообластей глубиной до нескольких микрометров. При многократном прохождении деталями зоны контакта количество таких столбчатых аустенизированных областей примерно одинаковой глубины возрастает, так что они постепенно заполняют всю рабочую поверхность. По существу образуется обратимая $\alpha - \gamma$ структура и эта обратимость определяет работоспособность последней. До тех пор, пока сохраняется подвижное равновесие, которое имеет место при α и γ карбид превращениях, работоспособность поверхности трения практически не меняется. Повреждения происходят тогда, когда оно нарушается и, по мере увеличения числа циклов, начинают накапливаться необратимые отклонения. По данным Б.Д. Грозина [2] процесс трения сопровождается локальными структурными превращениями в том случае, когда температура поверхности превышает критические точки (например, A_c для стали). Если температура ниже критической, то в малых объемах закаленной стали может происходить отпуск.

Понятие о динамике процессов, протекающих при трении, включает не только изменение структу-

ры и свойств материала для отдельных его микроразмеров, но и, как следствие этого, в ряде случаев изменение самого процесса изнашивания. В общем случае процесс трения следует рассматривать как накопление условий, приводящих к изменению структуры и физико-механических свойств материала, и как последовательность переходов материала из одного состояния в другое [4]. Все это приводит к изменению исходной структуры поверхности трения и, как следствие, к изменению износостойкости последней [5].

Для определения состава вторичных структур, возникающих на рабочей поверхности закаленной ГЦ в процессе ее изнашивания, были проведены рентгеноструктурные и металлографические исследования ГЦ после длительных стендовых испытаний дизеля 12ЧН 13/14, после 60 часов ускоренных испытаний дизеля 8Ч 13/14 с подачей кварцевой пыли и после эксплуатационных испытаний дизеля 12ЧН 13/14 на автомобиле БелАЗ-548 (пробег 38 тыс. км), а также ГЦ с нагирями, образовавшимися в процессе приработки и при длительной эксплуатации.

При рентгеноструктурном исследовании поверхностного слоя изношенных ГЦ обнаружен аустенит трения. Наибольшее его количество образуется в зоне максимальных износов – зона остановки ВКК в верхней мёртвой точке (ВМТ). На участке гильзы, соответствующем середине хода поршня, количество аустенита резко уменьшается и достигает минимума в районе нижней мёртвой точки (НМТ) (таблица 1).

Таблица 1. Влияние условий трения на образование вторичного аустенита

Участок замера	Количество вторичного аустенита, %	Относительный износ гильзы цилиндра, %
ВМТ ВКК	17	100
Середина хода ВКК	14	32
НМТ ВКК	следы	22

Слой аустенита трения на поверхности ГЦ в поясе максимальных износов обнаружен и при металлографическом исследовании (рис.1). Толщина его достигает 10 мкм, что приводит к уменьшению микротвердости на поверхности ГЦ, рис.2.

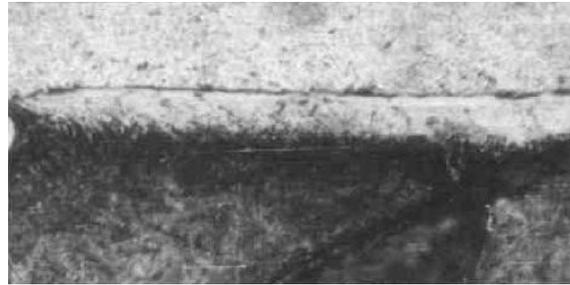


Рис. 1. Слой аустенита трения на рабочей поверхности ГЦ дизеля 8Ч 13/14 после 60 часов ускоренных испытаний (ув. 730^x)



Рис. 2. Зависимость микротвердости поверхностного слоя ГЦ дизеля 8Ч 13/14 от количества образовавшегося вторичного аустенита после 60 часов ускоренных испытаний

При исследовании ГЦ, не подвергавшихся закалке и работавших в аналогичных условиях, аустенита не обнаружено. Полученное различие для ГЦ с мартенситной и перлитной структурами можно объяснить значительно более высокой скоростью перехода мартенсита в аустенит вследствие того, что уже имеются готовые зародыши, которыми являются участки остаточного аустенита в закаленных ГЦ.

Зависимость количества вторичного аустенита от остаточного приведены на рис.3, структуры закаленного слоя ГЦ на рис.4. Структура слоя определяется в баллах по ГОСТ 8233 – 56.

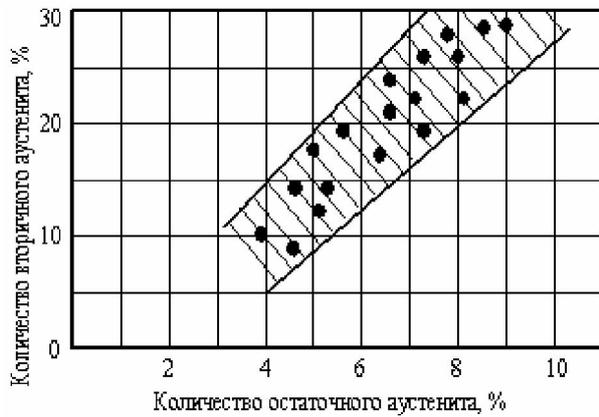


Рис.3. Зависимость количества вторичного аустенита от остаточного в структуре ГЦ дизелей 8ЧН 13/14 после 60 часов ускоренных испытаний

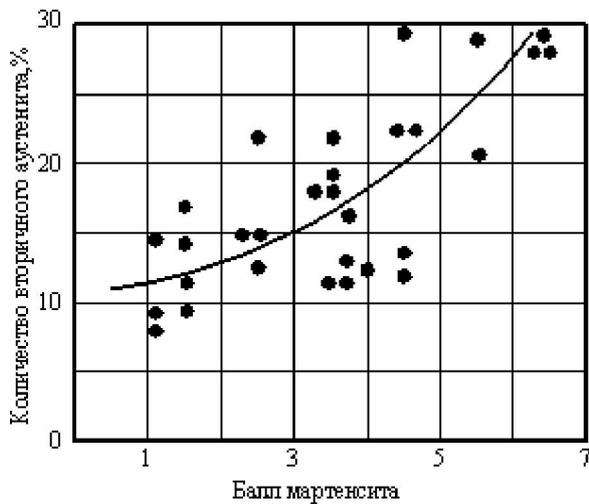


Рис. 4. Влияние структуры закаленного слоя ГЦ дизелей 8Ч 13/14 на образование вторичного аустенита после 60 часов ускоренных испытаний

Взаимосвязь между износом и количеством вторичного аустенита для ГЦ, прошедших 60-ти часовые ускоренные испытания на дизеле 8Ч 13/14 приведены на рис. 5.

По данным [3, 6] образование вторичного аустенита происходит в том случае, когда суммарная поверхностная температура достигает точки начала

аустенитного превращения, составляющей 780^oC для исследованного низколегированного серого чугуна. Полученные результаты позволяют утверждать, что при трении на ГЦ на участках фактического контакта развиваются температуры, существенно изменяющие свойства поверхностей и приводящие к разрушению слоя граничной смазки [7, 8]. Дальнейшее повышение температуры и удельного давления приводит к более глубокому превращению, сопровождающемуся образованием специфической структуры – «белого слоя». Она обладает высокой твердостью и плохой травимостью в обычных реактивах. Твердость «белого слоя», обнаруженного на ГЦ, достигает 13000 МПа.

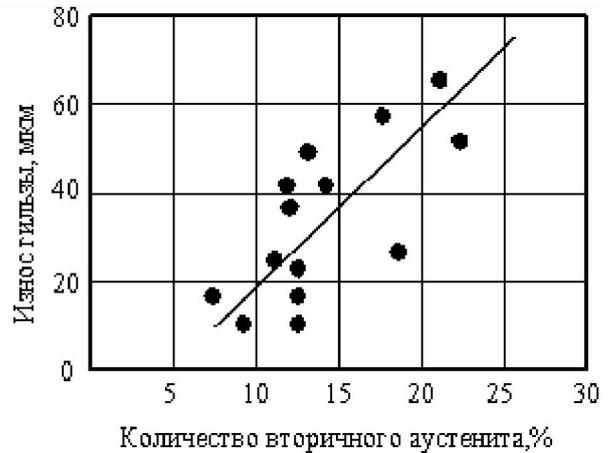


Рис.5. Взаимосвязь количества вторичного аустенита и износа ГЦ дизелей 8Ч 13/14 после 60 часов ускоренных испытаний

Ряд авторов, исходя из того, что «белый слой» обладает высокой твердостью, полагают, что его образование способствует повышению износостойкости. Однако при исследовании местных износов на участках поверхности ГЦ, покрытых «белым слоем», было получено возрастание темпов изнашивания на несколько порядков по сравнению с остальными участками. Это объясняется тем, что «белый слой» образуется на поверхности в виде отдельных разрозненных участков слабо связанных с основным металлом. В дальнейшем происходит его растрескива-

ние и выкрашивание крупными блоками, что оказывает сильнейшее абразивное воздействие на поверхность трения. При определенных условиях (высокие нагрузки, несовершенная смазка) абразивное изнашивание поверхности сопровождается регенерацией «белого слоя», приводящей к увеличению износа. Структурные изменения, связанные с образованием вторичного аустенита и особенно «белого слоя», являются характерными признаками микроконтактного схватывания, поэтому полученные результаты позволяют утверждать, что изнашивание, по крайней мере, закаленной ГЦ и ВКК происходит в результате совместного действия абразива и схватывания. Процессы эти взаимосвязаны, т.к. абразивные частицы в зоне трения способствуют повышению температуры и облегчают разрушение смазочной пленки. В свою очередь, микроконтактное схватывание приводит к дальнейшему росту температуры, вследствие выделения энергии при разрушении мостиков сварки, а протекающие при этом структурные превращения изменяют механические свойства трущихся поверхностей и, как следствие, снижают их износостойкость. Кроме того, исследованиями Вестбрука [8] установлено, что при 573 °С кварц, являющийся наиболее распространенным абразивом, испытывает фазовое превращение с соответствующим повышением твердости до величины, вероятно, превышающей 25000 МПа, что в определенных условиях способно изменить характер процесса изнашивания.

Полученная зависимость износа ГЦ от количества образовавшегося вторичного аустенита позволяет косвенно оценить вклад схватывания в износ этой детали. Так как условия абразивного изнашивания в процессе испытаний не изменялись (количество абразива, дисперсный состав, способ подачи, режим испытаний, продолжительность), можно пред-

положить, что изменение износа ГЦ связано, в основном, со схватыванием, а так как вторичный аустенит при трении образуется в виде столбчатых областей примерно одинаковой глубины, его количество характеризует долю площади поверхности, на которой произошло схватывание. Изменение количества вторичного аустенита, а следовательно и площади поверхности занятой им, с 10 до 20% привело к увеличению износа ГЦ в 2,7 раза.

Таким образом, полученные результаты позволяют утверждать, что изнашивание сопряжения ВКК-ГЦ происходит в результате протекания взаимосвязанных процессов абразивного изнашивания и схватывания. Доля, вносимая каждым из этих процессов в общий износ сопряжения, зависит от условий трения, ужесточение которых в предельном случае (при образовании «белого слоя») приводит к катастрофическому разрушению поверхностей.

Список литературы:

1. Любарский И.М. *Металлофизика трения*. – М.: Металлургия, 1976. – 176 с.
2. Грозин Б.Д. *Износ металлов*. – Киев.: Гостехиздат УССР, 1951. – 252 с.
3. Коган А.С., Расс Т.Т., Гораздовский Т.Я. *Некоторые закономерности образования так называемого «аустенита трения»*. – В сб.: *Теория смазочного действия и новые материалы*. – М.: Наука, 1965, с. 223 – 227.
4. Любарский И.М. *Фазовые превращения на поверхности трения и их влияние на износостойкость сталей в вакууме*. // *Трение и износ*. Том 1. № 2, 1980, с. 280 – 292.
5. Любарский И.М. *Об обратимости структурных превращений при трении*. – В сб.: *Теория смазочного действия и новые материалы*. – М.: Наука, 1965, с. 237-241.
6. Костецкий Б.И. *Поверхностная прочность материалов при трении*. – Киев : Техника, 1976. – 292 с.
7. Новиков В.Г., Пикус В.И., Стефановский Б.С., Липанова Т.А. *Оценка температур на фактических пятнах контакта в условиях двигателя внутреннего сгорания*. – В сб.: *Двигатели внутреннего сгорания*. – Ярославль, 1976, с. 63 – 67.
8. Ларсен-Бассе, Коянаги. *Износ твердых сплавов типа WC при работе по кварцевому абразиву*. // *Проблемы трения и смазки*, 1979, № 5, с. 103 – 107.