

ведения, приводящее к снижению температуры синтеза стекла, с другой стороны, достигается сокращение топливно-энергетических ресурсов в общем процессе производства износостойких плиток для полов.

УДК 621.793

Прохорова Т.Ф.

ПРИРОДА И МИКРОТВЕРДОСТЬ ВАКУУМНЫХ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ПОКРЫТИЙ НА ДЕФОРМИРОВАННЫХ ЧУГУНАХ

*БНТУ, Минск, Республика Беларусь
Научный руководитель: Покровский А.И.*

Исследованы природа и микротвердость покрытий, нанесенных на подложку из деформированного высокопрочного чугуна магнетронным распылением графитовой мишени. Рентгеновским анализом показано, что покрытие имеет аморфную структуру, сделана попытка определения микротвердости покрытия. Результаты работы предназначены для улучшения прирабатываемости уплотнительных колец трансмиссий автомобильной техники и замены покрытий, наносимых гальваническим методом.

Одним из наиболее перспективных среди множества существующих способов увеличения физико-механических и эксплуатационных свойств чугуна является его горячая пластическая деформация. Она позволяет одновременно сформировать из заготовки изделие с минимальными припусками на механическую обработку, так и существенно улучшить механические характеристики материала. При этом наиболее значительные изменения структуры материала происходят на поверхности изделия, в очаге максимальной деформации. Изменение формы и распределения графитных включений в поверхностном слое может привести к потере антифрикционных свойств деталей из чугуна. В объеме изделия при деформации формируются уникальные

свойства, обеспечивающие высокую жесткость при сжатии, возрастание сопротивления разрушению и деформации при разрушении.

Наиболее полно преимущества, получаемые при использовании малоотходной деформационной обработки чугуна, реализуются в высоконагруженных трансмиссиях автомобильной техники при изготовлении из него уплотнительных колец. Спецификой работы триботехнической пары: «чугунное уплотнительное кольцо – стальной вал» является повышенный износ на начальной стадии работы (первые часы и десятки часов). В случае удачной приработки дальнейшая практически безысходная работа может продолжаться 5..7 тысяч часов. Однако довольно существенная часть деталей (до 30%) уже в первые часы работы подвергается повышенному износу. Для улучшения приработки используют антифрикционные покрытия, наносимые при помощи вакуумных ионно-плазменных технологий. Особый интерес в качестве антифрикционных представляют графитсодержащие аморфные покрытия.

Основные закономерности формирования антифрикционных графитсодержащих слоев на стальных подложках при вакуумно-плазменном напылении изучены достаточно хорошо. Покрытиями же на чугунах до сих пор мало занимались. Считалось, что чугун, как чисто литейный материал не представляет практического интереса с точки зрения получения качественных защитных покрытий и вопрос взаимодействия потока ионов с этим материалом не подлежал исследованию. Покрытия на чугуне, подвергнутом такому специфическому воздействию, как горячая пластическая деформация, тем более не исследованы. Исследования деформированного чугуна касались основных закономерностей формирования его структуры и свойств при горячей пластической обработке, а также условия получения переменной структуры и свойств материалов за счет возникающих градиентов деформации и параметры литейно-деформационной технологии получения уплотнительных колец, зубчатых колес и дру-

гих изделий из чугуна. Следует отметить, что структура деформированного чугуна достаточно необычная. На рисунке 1 для примера показана морфология поверхности излома поперечного сечения деформированного чугуна.

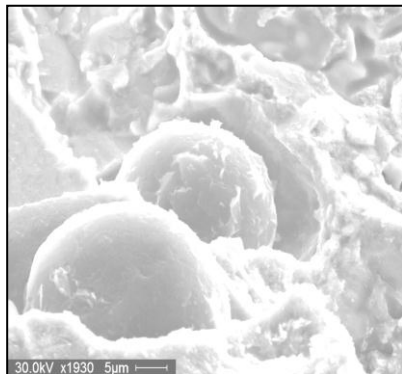


Рисунок 1 – Морфология поперечного сечения деформированного высокопрочного чугуна. Растровая электронная микроскопия поверхности излома разрывных образцов

Цель работы: разработка составов антифрикционных покрытий на уплотнительных кольцах из высокопрочного деформированного чугуна, предназначенных для трансмиссий нагруженных автомобилей, режимов нанесения покрытий, исследование их природы и характеристик.

Комплексная технология изготовления уплотнительных колец достаточно сложная, включает в себя литье, деформацию, и собственно нанесение покрытий.

На начальной стадии горячим выдавливанием получали втулки различных типоразмеров (на рисунке 2 это верхний ряд изделий), соответствующих будущим типоразмерам колец. После этого из них механической обработкой получали готовые уплотнительные кольца, на которые затем наносили покрытия. В рамках достижения поставленной общей цели в данном исследовании предстояло решить две конкретные задачи: исследовать рентгеновским фазовым анализом состав покрытия; определить его микротвердость.

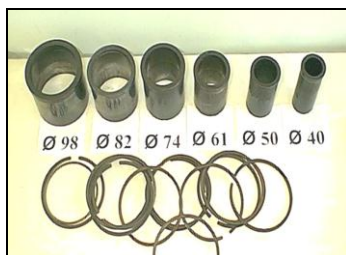


Рисунок 2 – Заготовки уплотнительных колец различных типоразмеров (от 40 до 98 мм) из деформированного чугуна и уплотнительные кольца диаметром 98 мм, на которые наносили покрытия

Результаты исследований.

Установлено, что покрытие представляет собой углеродную пленку с неупорядоченной аморфной структурой. При съемке на рентгенограмме в интервале от 28° до 40° наблюдается гало, что указывает на аморфную структуру исследуемого покрытия.

Линия имеет ассиметричное широкое правое крыло. Съемки на скользящем пучке с углом наклона $\alpha = 0,5^\circ$ подтвердили наличие аморфной составляющей и не показали присутствия в покрытии кристаллического графита. Типичный вид рентгеновского спектра, полученного от покрытия, нанесенного методом магнетронного распыления графитовой мишени, приведен на рисунке 3.

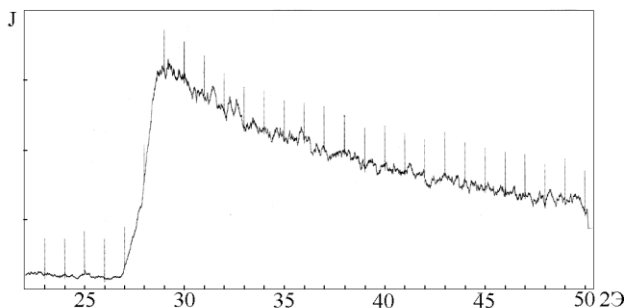


Рисунок 3 – Гало на рентгеновском спектре углеродного покрытия на образце из деформированного чугуна

Основу покрытия предположительно составляют две структуры – нанокристаллический алмаз и графит, атомы которых по-разному взаимодействуют между собой. Природа этого яв-

ления следует из электронной структуры атомов углерода. Конфигурация внешних электронных оболочек углерода $2s^2 2p^2$. При взаимодействии атомов углерода между собой вместо $2s$ – орбиталей трех $2p$ – орбиталей может образовываться набор гибридных орбиталей типа sp^3 и sp^2 . В первом случае образуются монокристаллы алмаза, во втором – графита.

При определении микротвердости тонких пленок на микротвердомере ПМТ-3 основной проблемой является выбор величины нагрузки, т.к. при больших нагрузках результат будет интегрироваться (микротвердость покрытия + основы) из-за «протыкания» индентором пленки. Поэтому опытным путем, постепенно уменьшая нагрузку, определяли значение микротвердости. Установлено, что микротвердость покрытий, полученная при нагрузке 100г, соответствует твердости подложки, т.к. слои настолько тонкие, что при измерении покрытие полностью продавливается индентором. С уменьшением нагрузки величина микротвердости начинает падать, что свидетельствует о все большем вовлечении твердости покрытия в интегральную твердость. Установлено, что минимальное значение микротвердости получено при нагрузке 2 г. Этому соответствует вычисленная глубина отпечатка порядка 1 мкм. Такое же значение толщины покрытия было получено при измерении оптическим методом величины ступеньки на микроинтерферометре МИИ-4.