

6
А-ЕЗ

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

Украинская ордена Трудового Красного Знамени
сельскохозяйственная академия

На правах рукописи
УДК 62-222

ГУРМАЗА А.А.

ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ ПОР И ИХ ВЛИЯНИЕ НА
ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ЗЕРКАЛА ГИЛЬЗ ТРАКТОРНЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ

/05.160 - материаловедение и технологии
машиностроительных материалов/

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель -
доктор технических наук,
профессор М.П.БРАУН

Киев - 1971

ной работы Александра Андреевича
искание ученой степени кандидата
на отзыв.
1970 гг. на кафедре технологии метал-
ого Красного Знамени сельскохозяйствен-
росу изучения причин образования пор-
ных гильз цилиндров дизельных трактор-
на износостойкость зеркала,
ий топографии пор, микроструктурного
ических исследований, рентгенострук-
ий остаточных напряжений в гильзах,
ияющие на образование пор. Проведен-
ость отработать в заводских условиях
позволяющие получать поры на зеркале
до 50%. Широкие износные испытания
лощадь пор в лабораторных и полевых
оптимальную площадь пор, при которой
ий, что позволяет в 1,5-2 раза повы-
ц, 56 рисунков, 15 таблиц и
ой литературы.

поненты:

профессор ПРЕЙС Георгий Александрович
институт пищевой промышленности, г. Киев/
старший научный сотрудник ВИНКУР
титут проблем литья Академии Наук СССР,
д им. Лепсе, г. Киев.

в 2-х экземплярах заверенный печатью
Киев, 4, Голосеево, Украинская сель-
енный совет, ссылаясь на № 2100.
" 1971 г.

ится на заседании Ученого Совета
ого хозяйства " " 1971 г.
зкомиться в библиотеке академии

АКАДЕМИИ
И.М.ЗИМА

ВВЕДЕНИЕ

В общей проблеме надежности и долговечности машин значи-
тельная роль принадлежит вопросам повышения сроков службы ди-
зельных тракторных двигателей. Удлинением сроков службы движе-
телей можно значительно сократить расходы на ремонт и сократить
время простоя машин в ремонте.

Ресурс работы двигателя прежде всего сокращается вследствие
износа гильз цилиндров, усиленного износа поршневых колец вклады-
шей, шеек коленчатого вала и других деталей. Многочисленными
исследованиями установлено, что в процессе эксплуатации износ
гильз цилиндров по высоте происходит неравномерно. Наибольший
износ наблюдается в верхней части в зоне верхней мертвой точки.
Величина этого износа достигает значительных размеров и в боль-
шинстве случаев в 2-3 раза превышает величину износа цилиндров
в других местах. Этот местный износ и лимитирует срок службы
двигателя.

По данным большинства опубликованных работ можно заключить,
что на износ цилиндров влияют многие факторы и в том числе тем-
пература, скорость скольжения, окружающая среда, содержание абра-
зивных частиц, условия смазки, коэффициент трения сопряженных
пар и др. Известно, что скорость скольжения поршневых колец по
зеркалу цилиндров переменна по величине и по знаку. В момент ре-
верса поршня в какой-то очень незначительный отрезок времени
появляется статическое трение, которое по своей величине значи-
тельно превосходит трение движения. В верхней части цилиндра
при такте рабочего хода развивается высокая температура, при ко-
торой масло теряет свою первоначальную вязкость и способность
прилипать к металлу. В результате этого, при трении скольжения
в верхней части цилиндров тонкий слой масла легко разрушается,
обнажая поверхностные слои металла и вызывая при этом сухое тре-
ние. Такие условия, как известно, способствуют возникновению
контактного схватывания металлов пары гильза-кольцо, но так как
трущиеся пары не прекращают своего движения, то мгновенно воз-
никшие металлические связи разрушаются и на поверхности трения
образуются вырывы, наплывы металла, задиры и другие дефекты.
Это содействует дальнейшему обнажению металла и развитию кон-



тактного схватывания. Поэтому мы считаем необходимым, для повышения срока службы гильз цилиндров тракторных двигателей, помимо упрочения поверхностных слоев металла, обеспечить также наилучшие условия смазки в верхней части цилиндров. Этому будет способствовать создание на рабочей поверхности гильзы оптимального количества специальных лунок /пор/ соответствующих размеров, которые могут длительное время удерживать разжиженное масло.

Диссертационная работа состоит из шести глав. В первой главе изложены литературные данные об износе гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания и пути повышения их износостойкости.

В практике дизелестроения до настоящего времени наибольшее применение в качестве материала колец и гильз цилиндров находит чугун. Согласно ГОСТ 655-66 на внутренней закаленной поверхности гильзы не допускаются никакие дефекты кроме отдельных раковин и точечной пористости, образующейся вследствие выкрашивания графита. Однако, многолетними исследованиями проведенными отечественными заводами и научными организациями установлено, что большое влияние на износ цилиндров оказывает чистота обработки поверхности. Устойчивость масляной пленки на поверхности цилиндра чистотой 0,35-0,45 мк оказалась лучшей, чем при чистоте поверхности 0,15-0,25 мк. Износостойкость чугунов выше износостойкости стали. Объясняется это тем, что поры, образовавшиеся после выкрашивания графита, заполняются маслом и играют роль "автосмазки". Покрытие зеркала гильзы хромом, несмотря на высокую износостойкость, не могло быть использовано пока на поверхности хрома не стали создавать специального рельефа или канавок для удерживания смазки; это мероприятие повысило износостойкость зеркала и поршневых колец и устранило задиры на зеркале. Создание на поверхности хромового покрытия механических пор привело к еще большему повышению износостойкости зеркала и к уменьшению износа поршневых колец.

Все это говорит о том, что поры на поверхности закаленных гильз могут быть полезны и их нужно специально создавать, а не устранять как этого требуют условия ГОСТа. Вопрос может стоять только о том, каких размеров, глубины и площади необходимы поры для получения более износостойкого зеркала гильзы.

В литературе нет единого мнения о природе образования пор.

Так, одни авторы считают причиной образования пор выкрашивание графита и неметаллических включений, другие - выкрашивание хрупкой металлической основы по межграфитовому пространству. Однако, преобладающее большинство исследователей приходит к выводу, что поры на поверхности зеркала гильз могут иметь место, главным образом, при закалке т.в.ч. и последующей механической обработке.

Закалка т.в.ч. характеризуется быстрым нагревом и охлаждением внутреннего поверхностного слоя гильзы в диапазоне температур фазовых превращений. Вследствие неравномерного протекания фазовых превращений по сечению заготовок /характеризующихся изменением удельных объемов и образованием остаточных внутренних напряжений/ может иметь место разрушение графита и металлической основы. При последующей механической обработке графит и металлическая основа в местах растрескивания могут выкрашиваться и образовывать поры. Остаточные напряжения могут оказывать влияние на изменение геометрии гильз при их хранении и на износостойкость зеркала при эксплуатации. В этой связи, вопрос изучения внутренних напряжений в заготовках и гильзах цилиндров заслуживает особого внимания.

Исходя из вышеизложенного целью данной работы было:

1. Исследование причин образования пор на поверхности зеркала гильз цилиндров. 2. Влияние пористости на износостойкость гильз. 3. Разработка технологического процесса получения гильз с оптимальной пористостью, обеспечивающей наименьший износ зеркала.

Предметом данного исследования являлись гильзы цилиндров СМТ-1-0102, Д-011002А и 50-100202 как наиболее распространенные на тракторных двигателях в СССР.

В задачу исследования входило: I. Изучение топографии пор:

1. Распределение пор на рабочей поверхности гильзы.
2. Установление зависимости между количеством, размером /по наибольшему измерению/ и площадью пор на рабочей поверхности гильзы.

3. Определение глубины пор на поверхности зеркала с различной пористостью и распределение пор в поперечном сечении гильзы.

П. Металлографические исследования на поверхности трения гильзы, в районе поры и в глубине закаленного слоя. Установление изменения структуры в зависимости от различных режимов отпуска.

Ш. Исследования остаточных напряжений в гильзах цилиндров:

1. Распределение напряжений в гильзах по образующей и в поперечном сечении.

2. Определение величины и характера напряжений в процессе изготовления гильзы, работы на двигателе и при складском хранении.

3. Изменение напряжений в гильзах в зависимости от режима отпуска.

4. Распределение напряжений в гильзах с различной пористостью.

У. Рентгенографические исследования микронапряжений и количества остаточного аустенита и их изменение в зависимости от режимов отпуска.

У. Износные испытания гильз с различной площадью пор в лабораторных и полевых условиях и определение оптимального количества и площади пор, при которых износ гильз будет минимальным.

Во второй главе диссертации изложена методика исследований. Исследованиям подвергались заготовки и гильзы цилиндров из серого перлитного чугуна СЧ21-40, изготовленные на киевском заводе им.Депсе.

Замеры площади пор, глубины и распределение пор в поперечном сечении производили на гильзах принятых ОТК завода и на выбракованных из-за повышенной пористости гильзах /длина пор по наибольшему измерению превышала 300 мк/. Для определения площади пор на рабочей поверхности зеркала цилиндров был применен линейный метод.

Поскольку нет специальных приборов для замера микроуглублений неправильной геометрической формы, было предусмотрено, в целях исключения ошибки и получения максимальной точности, глубину пор гильз с различной их площадью определять способом отпечатков на микроинтерферометре МИС-11 и на профилометре - профилографе. Для исследования распространения пор в глубину

закаленного слоя был применен метод послойной сошлифовки образцов, вырезанных из гильз с различной площадью пор. Кроме этого, метод послойной сошлифовки подтвердил данные полученные при замерах глубины пор.

Микроструктурному анализу подвергались образцы гильз различных плавок, образцы вырезались из верхней, средней и нижней части гильз. Для приготовления шлифов использовали электрополировальную установку типа 1085 "Металлополь". Изучение микроструктуры производили на горизонтальном микроскопе МИМ-8М в световом поле с различным увеличением. Исследованиям подвергались незакаленные гильзы, а также гильзы подвергшиеся закалке т.в.ч. и отпуску с помощью токов промышленной частоты или в муфельной печи при температуре 240-270° с различным временем выдержки; исследовались также и гильзы отработавшие на тракторном двигателе межремонтный период.

Электронномикроскопические исследования производили на универсальном микроскопе УЭМБ-100В. При исследовании использовали двухступенчатые реплики.

Рентгеноструктурному анализу на установке УРС50ИМ подвергались образцы гильз после закалки т.в.ч. и различного по времени низкого отпуска с помощью т.п.ч. или в муфельной печи. Определяли напряжения и количество остаточного аустенита. Изучение тонкой структуры после различных режимов отпуска производили путем анализа ширины рентгеновских интерференционных линий /110/ и /220/. Ширина линий измерялась как частное деления интегральных интенсивностей интерференционных линий на высоту максимума интенсивности.

Остаточные напряжения I-го рода определяли методом тензометрирования после разгрузки заготовок и гильз цилиндров от напряжений разрезкой. Деформации измеряли с помощью тензодатчиков ПКВ-10-100 наклеенных на внутренние и наружные поверхности гильзы. В связи с тем, что при полимеризации клея при температурах рекомендованных заводом /70-120°С/ будет происходить перераспределение напряжений, что может исказить результаты замеров, наклеенные датчики просушивали при температуре 18-20°С в течение 12 суток. За это время клей полностью полимеризовался и датчики надежно приклеивались к поверхности гильзы. Измерения вели ду-

левым методом с помощью специально созданного для этой цели измерительного прибора ИСН-30 разработанного кафедрой ремонта УСХА. При изучении остаточных напряжений в качестве объекта исследования выбрали гильзы тракторных двигателей Д-50 и Д-48. Были отобраны: отливки гильз, гильзы непосредственно после механической обработки, гильзы получившие закалку т.в.ч., отпуск и последующую механическую обработку, гильзы подвергшиеся складскому хранению на протяжении одного года, гильзы отработавшие на тракторном двигателе межремонтный период, а также гильзы с различной площадью пор на рабочей поверхности. Всего исследованию было подвергнуто 75 гильз. Этим обеспечивалась возможность получения данных о величине и распределении остаточных напряжений в гильзе, о характере изменения напряжений в процессе изготовления, естественного старения и в процессе эксплуатации, а также определение влияния внутренних напряжений на образование пор.

Для определения влияния пор на износостойкость зеркала гильзы были проведены широкие износные испытания как образцов гильз, так и самих гильз с различной площадью пор в лабораторных и полевых условиях. В лабораторных условиях испытания образцов и гильз производили на установках для исследования износа при поступательно-возвратном перемещении, при сухом и граничном трении. При стендовых испытаниях гильз на рабочую поверхность пары трения гильза-кольцо подавалось масло смешанное с абразивом. Количество абразивного порошка, вводимого в масло составляло 15 г/литр.

В полевых условиях гильзы, с различной площадью пор на зеркале, были установлены на 262 тракторных двигателях Д-38, Д-40, Д-48, Д-50 и СМД-14 в восьми райобъединениях "Сельхозтехника", расположенных в различных почвенных зонах УССР. На части двигателей гильзы с малой пористостью, допустимой ГОСТ 655-66, устанавливали в цилиндры № 2 и № 4, а гильзы с повышенной пористостью в цилиндры № 1 и № 3. На другой части двигателей гильзы с малой пористостью устанавливали в цилиндры № 1 и № 8, а гильзы с повышенной пористостью - в цилиндры № 2 и № 4. На 86 двигателях были установлены гильзы с повышенной площадью пор на зеркале /12-27%. Все установленные гильзы были изготовлены

на заводе им.Лепсе и отвечали техническим требованиям ГОСТ 655-66 за исключением /для гильз с повышенной пористостью/ пункта I.5. Перед установкой на двигатель гильзы цилиндров подвергались микрометриру по внутреннему диаметру индикатором для внутренних измерений с точностью до 0,01 мм. После выработки тракторами межремонтного периода производили замер износа исследуемых гильз согласно ГОСТ 7057-54.

В третьей главе диссертации приведены результаты исследования топографии пор, микроструктуры и тонкой кристаллической структуры поверхностных слоев гильз.

В результате проведенных исследований нами на заводском конвейере не было обнаружено гильз не имеющих пор на зеркале. Площадь, занимаемая порами, находится в больших пределах от 1,5 до 27% /рис. I/.

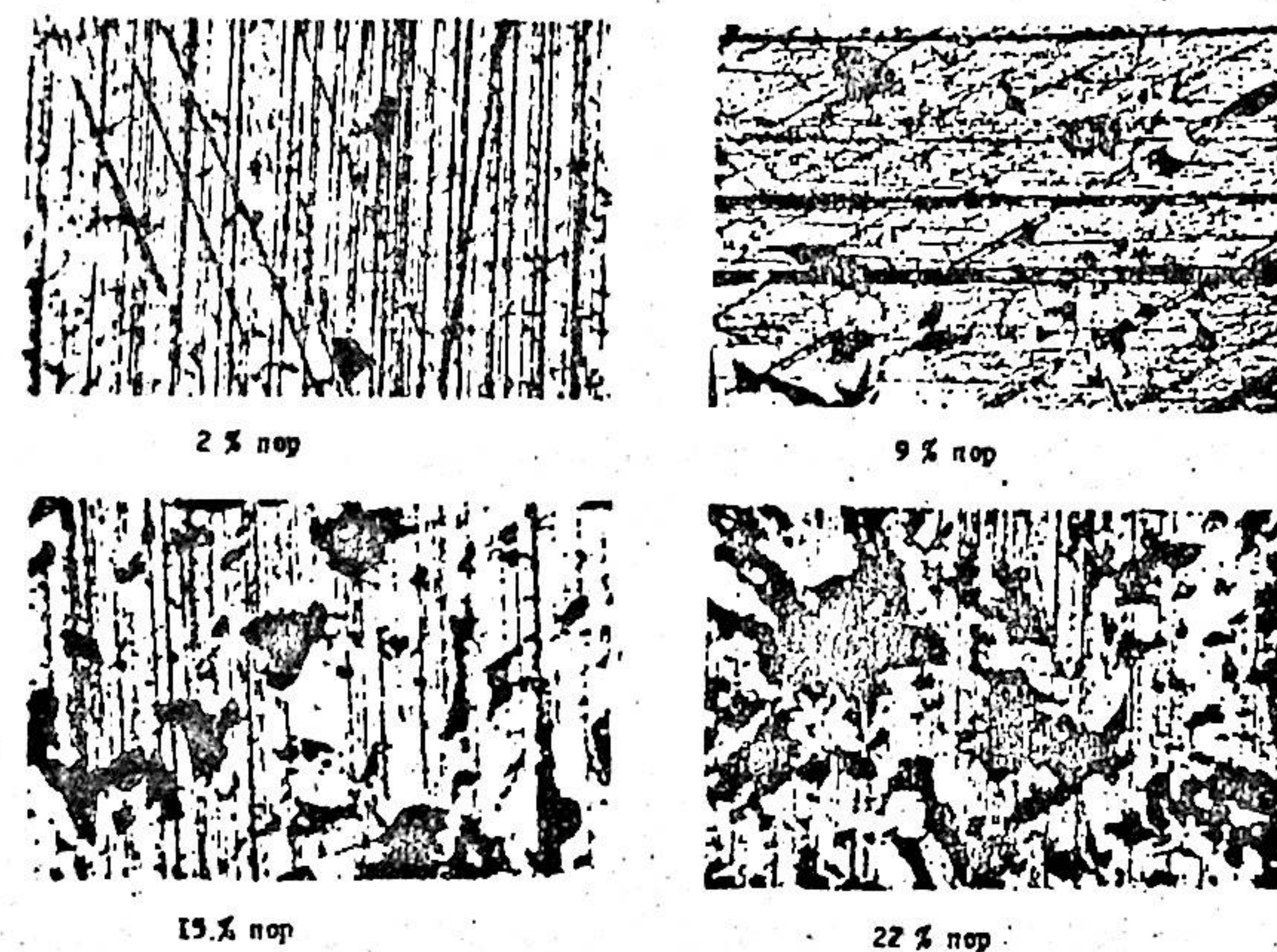


Рис. I. Поверхность гильз с различной площадью пор зеркала. X 100.

В таблице I приведены данные о количестве пор на 1 см² их длине /по наибольшему измерению/ в зависимости от площади на рабочей поверхности гильзы. Пory размером меньше 10 мк при подсчетах не учитывались.

Таблица I

Площадь пор, в %	2	6	10	15	20	27
Количество пор на 1 см ²	30-40	50-120	130-140	210-220	280-300	400-500
Максимальная длина пор, в мк	до 150	230-260	320-350	480-500	550-700	900-1200

Замеры на микроскопе МИС-II и профилографе-профилометре показали, что средняя глубина пор у гильз с площадью 2% не превышает 10-15 мк. С увеличением площади пор их глубина возрастает и при пористости 10% средняя глубина достигает 60-65 мк, а максимальная 110-120 мк. С ростом пористости до 15-18% средняя глубина увеличивается до 115-130 мк, а максимальная до 180-200 мк. Заметного увеличения глубины пор при возрастании их площади выше 18%, не наблюдается. Методом послойного шлифования было установлено, что у гильз с пористостью до 2% поры на глубине 0,05 мм отсутствуют. У гильз с пористостью 15-25% поры отсутствуют при глубине шлифованного слоя 0,15-0,20%.

Микроструктура закаленной гильзы представляет игольчатый мартенсит, включения графита и фосфидную эвтектику. Наблюдаются участки остаточного аустенита, которые сосредоточены в основном по границам включений графита. Структура металлической основы у края поры аналогична структуре поверхности зеркала гильзы, но у гильз с площадью пор более 12% наблюдается большее количество остаточного аустенита как в районе пор, так и на всей закаленной поверхности. Глубина закаленного слоя исследуемых гильз колеблется в пределах 1,5-2 мм, при этом в верхней части гильзы она на 0,1-0,3 мм больше, чем в средней, а металлическая основа имеет структуру крупноигольчатого мартенсита и большие участки остаточного аустенита.

В процессе электроотпуска при температуре 240-270°C происходят заметные изменения в микроструктуре закаленной поверхности гильзы. Наблюдается уменьшение размера иголок мартенсита и количества остаточного аустенита, и по истечении 120 секунд мартен-

сит становится весьма мелкоигольчатым, а остаточный аустенит превращается почти полностью в отпущенный мартенсит. Такая же картина наблюдается на поверхности шлифов гильз, получивших отпуск в муфельной печи при температуре 250-260° в течение 2 часов.

Известно, что пересыщенный твердый раствор углерода в α - железе является неустойчивым и распад его начнется сразу же после закалки при комнатных температурах, что и было зарегистрировано при исследовании структуры гильзы на электронном микроскопе. На полученных электронномикрофотографиях образцов от гильзы после закалки просматриваются, начавшиеся выделяться тонкодисперсные карбиды. На границах раздела металлической основы и включений графита, образовавшихся карбидов значительно больше, чем на периферийных участках. При электроотпуске в течение 10 секунд наблюдается увеличение размера образовавшихся карбидов и некоторое уменьшение иголок мартенсита, т.е. уже за сравнительно небольшой период времени электроотпуска на закаленной поверхности гильзы начинают развиваться превращения связанные с первой стадией отпуска мартенсита. Дальнейшее увеличение времени нагрева до 120 секунд приводит к укрупнению и обособлению карбидов, уменьшению иголок мартенсита, а остаточный аустенит превращается в гетерогенную смесь состоящую из пересыщенного

α - раствора и карбида. При комнатных температурах протекают те же процессы, связанные с выделением карбидов, но весьма медленно. На электронномикрофотографиях шлифов поверхности гильз, прошедших естественное старение при температуре 16-20° в течение 11 месяцев, видны выделившиеся карбиды на иглах мартенсита, но несколько меньших размеров, чем при низком отпуске. Превращений в остаточном аустените не наблюдается.

Известно, что все эти превращения, происходящие при отпуске и естественном старении, связаны с изменением тетрагональности мартенсита. Сразу же после закалки, в связи с выделением углерода из твердого раствора, начинается постепенно уменьшаться параметр c/a / стремится к единице, что сопровождается снижением остаточных внутренних напряжений и при полном выделении углерода из раствора могло бы произойти снятие напряжений на закаленной поверх-

ности, возникших в результате предыдущих превращений, сопровождавшихся объемными изменениями, но поскольку гильза цилиндров имеет поверхностную закалку, значит и все объемные изменения будут происходить в закаленном слое, а в наружном незакаленном слое превращения происходить не будут, следовательно в гильзах цилиндров в процессе отпуска и естественного старения может происходить только перераспределение напряжений.

Электронномикроскопические исследования не обнаружили изменений в структуре металла у края поры и у основного поля. На дне поры, также как и на краях, просматриваются выделившиеся на иглах мартенсита карбиды.

Рентгеноструктурный анализ показал, что при отпуске в муфельной печи, первоначально, напряжения второго рода несколько повышаются по сравнению с исходными. Это вызвано несколько большим превращением аустенита в начальной стадии отпуска. Как известно, при распаде мартенсита объем уменьшается за счет выделения из твердого раствора углерода, при превращении аустенита в мартенсит объем увеличивается, поэтому в начале отпуска и наблюдается увеличение микронапряжений. Дальнейшее увеличение времени отпуска до 120 минут приводит к резкому снижению микронапряжений. При длительности отпуска более 120 минут заметного падения микронапряжений не наблюдается и дальнейшее продолжение отпуска не ведет к полному их снятию. Аналогичная картина происходит и с изменением микронапряжений при электроотпуске. В начальной стадии отпуска в течение 10-20 секунд заметного падения микронапряжений не происходит. Увеличение времени отпуска до 180 секунд ведет к резкому уменьшению микронапряжений и при времени более 180 секунд не приводит к заметному падению микронапряжений. Таким образом, можно считать, что при дальнейшем продолжении низкого отпуска они изменяться не будут.

При исследовании влияния различного времени отпуска на изменение количества остаточного аустенита установлено, что структура внутренней поверхности гильзы после закалки имеет около 17% γ - фазы. Низкий отпуск в печи ведет к уменьшению количества γ - фазы и по истечении 90 минут в исследуемых образцах остаточный аустенит не обнаруживается. Электроотпуск также ведет к уменьшению количества остаточного аустенита и по истечении 4 минут

его количество не превышает 6%.

В четвертой главе диссертации приведены данные исследования остаточных напряжений в гильзах. При исследовании характера изменения напряжений в процессе изготовления гильзы было установлено, что напряжения в отливках гильзы не превышают 65 кг/см^2 .

На внутренней стороне отливки в верхней и нижней части - напряжения сжатия, в средней - растяжения, а величина их в два раза больше по сравнению с напряжениями на краях гильзы. На наружной части гильзы напряжения приблизительно той же величины, но с обратным знаком.

После черновой расточки отливок знак напряжений на внутренней и наружной поверхности сохраняется, но величина их уменьшается в несколько раз. Можно считать, что практически остаточные напряжения в заготовках гильзы, прошедших механическую обработку после отливки, отсутствуют.

При нагреве гильзы под закалку с помощью т.в.ч. в результате большой разности между температурами на внутренней и наружной поверхности создаются термические напряжения, которые суммируются со структурными напряжениями, возникшими в результате фазовых превращений. После закалки остаточные напряжения на внутренней и наружной поверхностях гильзы резко увеличиваются. Максимальные напряжения достигают величин соответственно $1150-1025 \text{ кг/см}^2$, что составляет $2/3$ предела прочности материала гильзы. На внутренней части гильзы образуются напряжения сжатия, а на наружной - растяжения. В верхней и нижней частях гильзы напряжения в 1,5 раза больше, чем в средней. Это объясняется более продолжительным нагревом краев гильзы при закалке на высокочастотных установках по сравнению с средней частью.

После низкого отпуска напряжения на внутренней и наружной поверхности гильзы значительно уменьшаются, однако их абсолютные значения остаются велики и соответственно равны $330-280 \text{ кг/см}^2$. Характер распределения напряжений в гильзе по образующей сохраняется такой же как и после закалки.

Последующие полустовая и чистовая расточки внутренней поверхности не оказывают существенного влияния на величину напряжений и их распределение по образующей гильзы.

В результате исследований характера изменения напряжений в гильзах в процессе естественного старения было обнаружено, что после изготовления гильз в процессе естественного старения в течение 60 суток напряжения возрастают и достигают величины - 500 кг/см² на внутренней и 480 кг/см² на наружной поверхности.

Увеличение напряжений объясняется тем, что процесс превращений аустенита в мартенсит продолжается при низких температурах, а поскольку образование карбидов идет крайне медленно и первоначально выделившиеся карбиды по границам блоков мозаики и игол мартенсита еще малы, то превращение аустенита в мартенсит оказывает существенное влияние на увеличение остаточных напряжений. При дальнейшем, во времени, старении образовавшиеся карбиды увеличиваются в размере. Тетрагональный мартенсит полученный при закалке, превращается в отпущенный почти кубический, а выделение углерода из раствора сопровождается объемным изменением. Поэтому, напряжения в гильзе при дальнейшем старении как на внутренней, так и на наружной поверхности уменьшаются и по истечении 190-200 суток происходит перераспределение напряжений. На внутренней поверхности гильзы образуются напряжения растяжения, на наружной - сжатия.

Эти напряжения с течением времени увеличиваются и по истечении II месяцев достигают величины - 530 на внутренней и +460 кг/см² на наружной поверхности.

Данные исследования изменения напряжений при старении гильз в муфельной печи при температуре 250°C в течение 4-х часов приведены на графике /рис.2/.

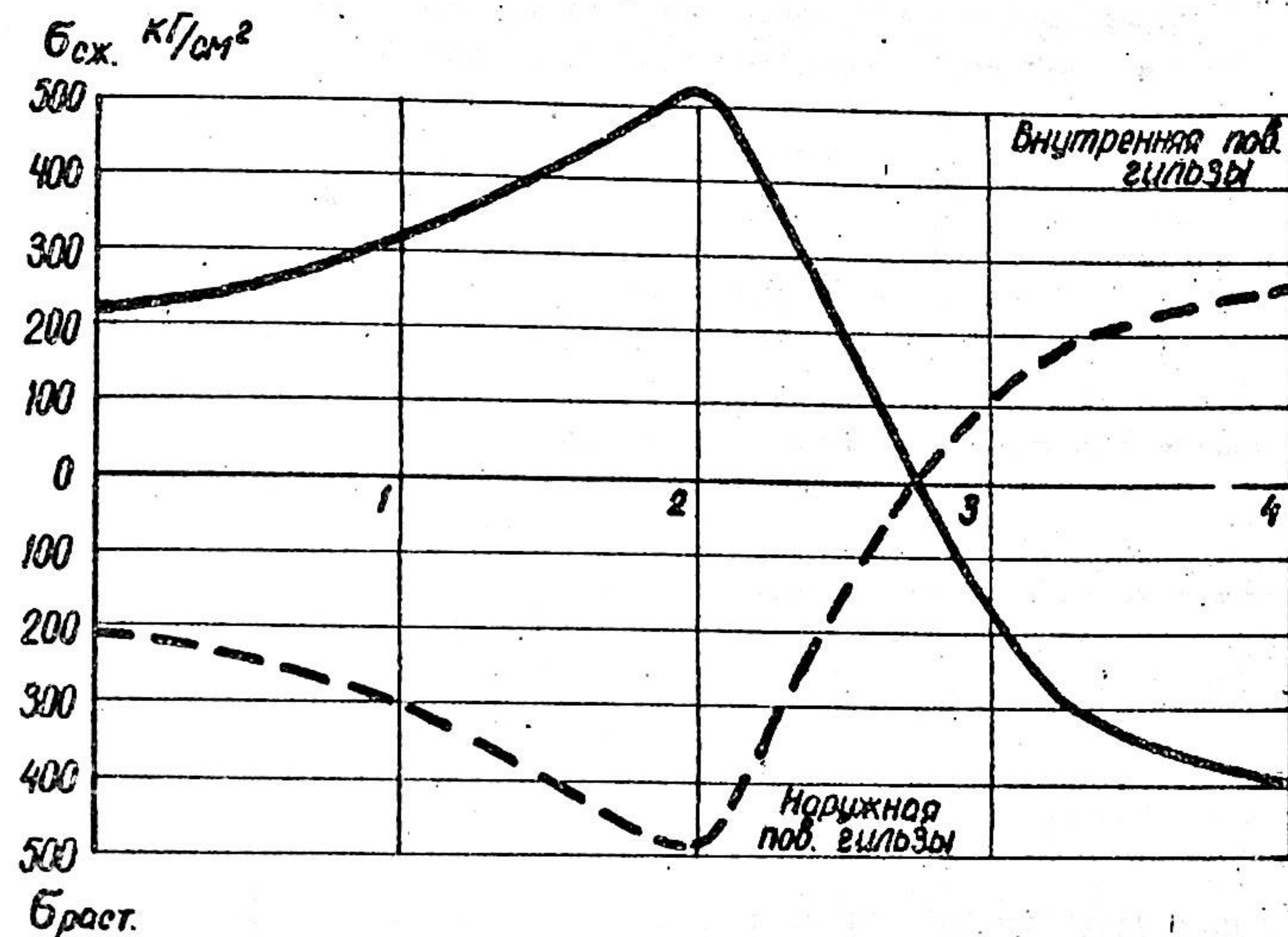


Рис.2. Изменение напряжений при старении гильз.

Как видно из приведенных данных, в первые два часа старения на внутренней стороне гильзы напряжения сжатия, а на наружной - растяжения возрастают в два раза. При дальнейшей выдержке происходит перераспределение напряжений. На внутренней стороне образуются напряжения растяжения, а на наружной - сжатия и по истечении четырех часов их значения достигают соответственно +370 и -280 кг/см².

Первоначальный рост напряжений, затем резкий спад и в дальнейшем их перераспределение связаны с превращениями, происходящими на закаленной поверхности гильзы, т.е. превращениями связанными с отпуском мартенсита. Эти превращения протекают и при естественном старении, как было показано выше, только в связи с большей разницей температур при естественном и искусственном старении, во втором случае эти превращения протекают значительно быстрее.

Превращения продолжают протекать в гильзе после ее установки на двигатель. Можно сказать, что в условиях эксплуатации гильзы /работы двигателя/ продолжается ее отпуск, так как поверхность трения гильзы имеет температуру в верхней части 240-270, а в нижней 130-135°. При замере напряжений у гильз, отработавших межремонтный период, на внутренней поверхности были зарегистрированы остаточные напряжения растяжения, а на наружной сжатия, соответственно равные 447-334 кг/см². Распределение напряжений по образующей гильзы неравномерно. В верхней части гильзы остаточные напряжения в среднем на 80% больше, чем в нижней. Объясняется это тем, что в верхней части цилиндра при работе двигателя на установившемся тепловом режиме температура выше, чем в средней и нижней частях, следовательно описанные выше превращения в верхней части гильзы протекают в более благоприятных условиях, то есть выделение карбидной фазы происходит интенсивнее и карбидов в объеме выделяется больше, чем в средней и нижней части гильзы.

Исследования остаточных напряжений в гильзах с различной пористостью позволили установить прямую зависимость между уровнем остаточных напряжений и площадью пор на рабочей поверхности гильзы. С увеличением пористости напряжения в гильзах возрастают. Существует зависимость между распределением пор и напряжениями по длине рабочей поверхности гильз. В верхней и нижней частях гильзы напряжения и площадь пор больше, чем в средней части.

В пятой главе диссертации исследованы факторы влияющие на образование пор.

Проведенные исследования позволяют считать, что поры на рабочей поверхности гильзы образуются во время механической обработки, термически обработанных гильз, вследствие выкрашивания металлической основы по границам включений графита. Поры расположены на поверхности и в глубину не распространяются. На внутренней поверхности термически необработанных гильз поры не обнаруживаются.

Тензометрирование гильз с различной площадью пор показало, что с увеличением остаточных напряжений на внутренней поверхности прямо пропорционально возрастает и пористость. Следовательно, основной причиной образования пор можно считать высокие сжимающие

напряжения. Исследования также показали, что образовавшиеся после поверхностной закалки большие напряжения можно за определенное время отпуска снизить до нуля и даже изменить знак напряжений на внутренней и наружной поверхностях гильз. Таким образом, путем подбора времени отпуска, можно получить на рабочей поверхности гильзы заданное количество пор по площади. Для этой цели было отобрано из одной плавки 18 гильз. После черновой расточки гильзы были закалены на высокочастотной установке при одном режиме. Три гильзы были подвергнуты дальнейшей обработке без отпуска. Остальные гильзы подвергались отпуску при температуре 240-260° с помощью токов промышленной частоты с различным временем отпуска /15, 30, 60, 120 и 240 секунд/. Три гильзы подвергали после закалки отпуску в муфельной печи при температуре 250° в течение двух часов. Затем все гильзы были полностью механически обработаны на заводском конвейере. При таком режиме термической обработки на внутренней поверхности гильз были созданы различные по величине сжимающие напряжения. По завершении обработки в исследуемых гильзах были замерены напряжения и подсчитана площадь пор. Данные замеров приведены в таблице 2.

Таблица 2

№ п/п	Режим термической обработки	Напряжения на внутренней поверхности гильзы, в кг/см ²	Площадь пор, в %
1.	Закалка ТВЧ	1200-1300	35-50
2.	Отпуск 15 секунд	800-850	18-30
3.	Отпуск 30 секунд	450-500	10-15
4.	Отпуск 60 секунд	250-300	2-6
5.	Отпуск 120 секунд	80-120	2-4
6.	Отпуск 2 часа	30-40	до 2

Из проведенных исследований можно сделать вывод, что основной причиной образования пор являются остаточные напряжения. Химический состав всех исследуемых гильз был одинаковым /гильзы взяты из одной плавки/. Механическая обработка и закалка т.в.ч. производилась на одной линии заводского конвейера. Изменяли только время отпуска гильз в результате чего получили на зеркале раз-

личную пористость от 50 до 2%.

В гильзе цилиндров после закалки образуются остаточные напряжения двух родов - микроскопические /напряжения второго рода/ и макроскопические /напряжения первого рода/. Образовавшиеся после закалки напряжения уравниваются во всем объеме гильзы, т.е. гильза находится в равновесном состоянии. Включения графита /в данном случае их можно рассматривать как пустоты или трещины в металлической основе/ являются концентраторами напряжений.

Термически обработанные гильзы подлежат механической обработке, первой операцией которой является черновая расточка. При резании происходит деформация отдельных поликристаллов. Давление режущего инструмента вызывает в металле сложное взаимодействие внутренних сил. Передняя поверхность резца осуществляет давление на металл, создает в ограниченной зоне впереди резца сложное упругое состояние, переходящее потом в упруго-пластическую деформацию.

Пластическая деформация зависит от равномерности структуры металла. Наличие концентраторов напряжений в виде графита и неметаллических включений ослабляет металл. В этом случае образуются трещины от одного неметаллического включения к другому и процесс резания облегчается.

Из вышесказанного можно представить образование пор следующим образом. Возникающие большие микро- и макронапряжения после закалки концентрируются в зоне неметаллических включений и включений графита. Эти напряжения стимулируют образование микротрещин и понижают пластичность металлической основы. Особенно она будет низкой в зоне близлежащих включений графита.

Это приводит к тому, что при дальнейшем механической обработке, в результате суммирования напряжений имеющих в металле и напряжений, созданных режущим инструментом, металлическая основа в районе близлежащих включений графита становится настолько хрупкой, что происходит не пластическое деформирование /срезание стружки/, а выкрашивание металлической основы /хрупкое разрушение/, в результате чего образуются поры /рис.3/.

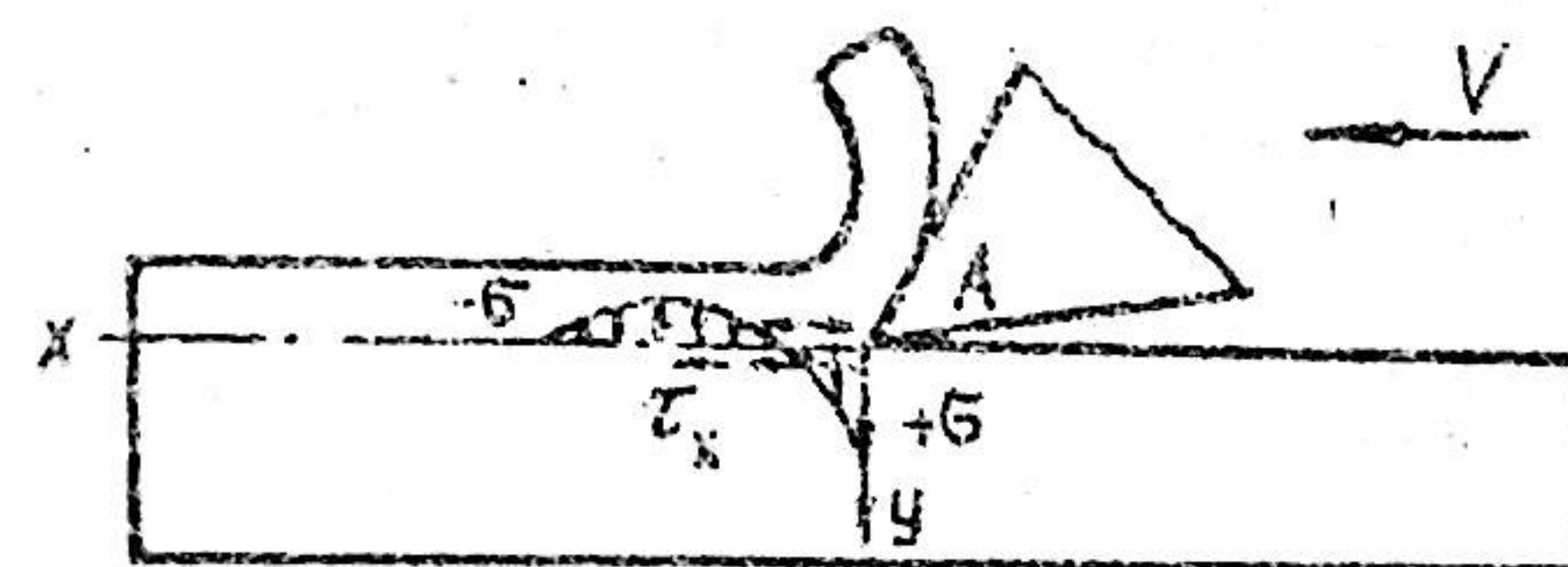


Схема напряженного состояния поверхности

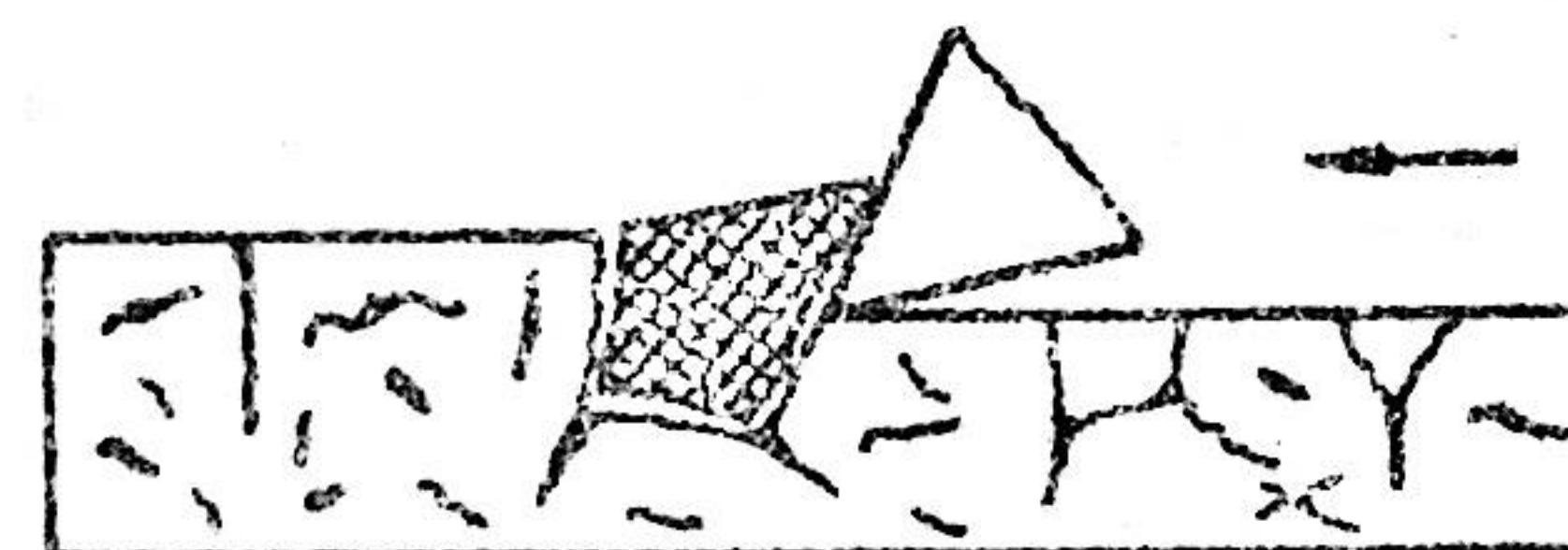


Рис.3. Схема механизма образования пор.

При отпуске закаленной поверхности происходит снятие остаточных напряжений, превращение остаточного аустенита в отпущенный мартенсит. В результате металлическая основа становится более пластичной, что приводит к меньшему выкрашиванию металла, а следовательно и к уменьшению пористости.

Необходимо отметить, что режим термической обработки определяет структуру металла гильзы, следовательно, на образование пор может оказать влияние химический состав материала гильзы и соответственно структура металлической основы.

Суммарное содержание углерода и кремния является одним из факторов влияющим на величину, форму и характер распределения включений графита. С увеличением $\Sigma C + Si$ длина включений

возрастает, степень их изолированности уменьшается, что создает более благоприятные условия для выкрашивания металлической основы. Розеточный вид графита приводит к повышенному образованию пористости на зеркале гильзы.

На образование пор могут оказывать косвенное влияние также и другие сопутствующие факторы, как: качество исходных шихтовых материалов; подбор состава металлозавалки; количество связанного углерода; температура охлаждающей жидкости при высокочастотной поверхностной закалке; режимы резания; геометрия и состояние режущего инструмента; время прошедшее от момента проведения термообработки до момента выполнения последующих механических операций. Однако, как показали наблюдения на заводском конвейере, при различии всех вышеперечисленных факторов, но при постоянном времени электроотпуска /45-60 секунд/ на зеркале гильз различных плавок поры образуются небольших размеров /до 250 мк по наибольшему измерению/, а площадь, занимаемая порами, не превышает 6-8%.

В шестой главе диссертации приведены данные исследований, в лабораторных и полевых условиях износостойкости гильз цилиндров с различной площадью пор на их рабочей поверхности.

По данным результатов исследований построены графики износа образцов и гильз с различной пористостью /рис.4/. Из приведенных на графиках данных видно, что с увеличением площади пор до 12% износ образцов при сухом и граничном трении уменьшается. Наименьший износ имеют образцы с площадью пор 12-18% /на 40-60% меньше, чем у образцов от гильз с площадью пор 2-9%, т.е. гильз эксплуатации которых допускает ГОСТ 655-66/. При увеличении пористости более 18% износ образцов при сухом трении увеличивается и у образцов с площадью пор 24-27% износ на 10-12% больше, чем у образцов с площадью пор 2-9%. При граничном трении износ образцов с площадью пор более 18% увеличивается, но менее интенсивно, чем при сухом трении и у образцов с площадью пор 24-27% он все же ниже, чем у образцов с площадью пор 2-9%.

Уменьшение износа образцов гильз при увеличении площади пор до 18% при сухом трении объясняется лучшими условиями смазки трущихся тел графитом, срезанным контр-телом с поверхности образца гильзы и задержанным порами. Кроме этого, поры являются

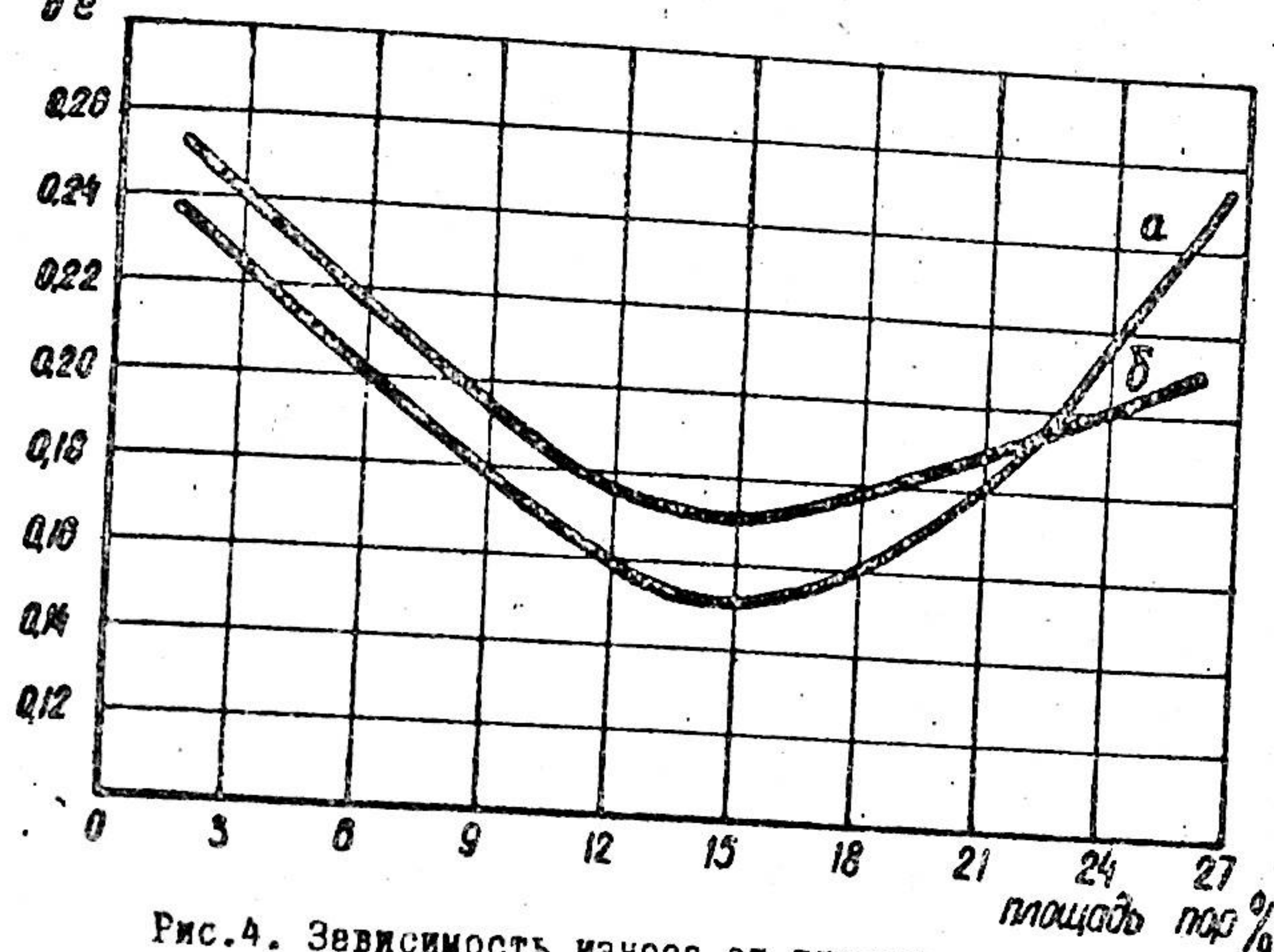


Рис.4. Зависимость износа от площади пор
а — при сухом трении; б — при граничном трении

ловушками для продуктов износа. Оторвавшиеся от поверхности трения окисные пленки и частички металлической основы задерживаются частично в порах и оказывают меньшее воздействие на увеличение износа, чем у образцов гильз с меньшей площадью пор. При пористости выше 18% поверхностный слой металла становится менее прочным. Под воздействием сил трения металлическая основа между порами выкрашивается. Выкрашенные частицы металла совместно с другими продуктами износа увеличивают износ трущихся поверхностей.

Для исследования влияния площади пор на износостойкость зеркала гильз непосредственно на двигателях, гильзы с площадью пор от 1,5 до 20% были установлены на 262 тракторных двигателях в различных почвенных зонах УССР. После выработки тракторами межремонтного периода был произведен замер износа исследуемых гильз согласно ГОСТ 7057-54. Микрометражу были подвергнуты гильзы 20 двигателей. В связи с тем, что проведенные замеры показали стабильные результаты износа гильз с различной пористостью, дальнейший их микрометрах был прекращен.

Усредненные величины износа гильз с различной пористостью, в зоне максимальной выработки, за 1 га п.м. приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Площадь пор, в %	1,5-2	6	8	10	12	14	16	18	20
Износ за 1 га п.м. в зоне мак- симальной выра- ботки, в мк	0,31	0,22	0,19	0,17	0,14	0,12	0,11	0,11	0,10

Как видно, максимальный износ имеют гильзы с площадью пор 1,5-2%. С увеличением площади пор на зеркале износ гильзы резко уменьшается и при площади пор 18-20% он в три раза меньше износа гильз имеющих площадь пор 1,5-2%.

При микрометраже изношенных гильз с различной площадью пор зеркала были проведены замеры износа поршневых колец согласно ГОСТ 7057-54. Результаты замеров показали некоторое повышение износостойкости колец у гильз с повышенной пористостью зеркала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И РЕКОМЕНДАЦИИ.

На основании проведенных исследований можно заключить, что поры расположены на поверхности гильзы, в глубину не распространяются. Площадь, занимаемая порами серийных гильз, колеблется в больших пределах от 1,5 до 27%, глубиной до 200 мк и размером по наибольшему измерению до 1200 мк. В верхней и нижней частях гильз площадь занимаемая порами на 1,5-2% больше, чем в средней части. С увеличением площади пор их размер и глубина увеличиваются.

Металлографические исследования структуры металла поверхности гильзы в районе пор и по глубине закаленного слоя показали, что на рабочей поверхности гильзы структура представляет средне- и мелкоигльчатый мартенсит с участками остаточного аустенита. В районе пор остаточного аустенита несколько больше чем на периферийных участках. Отпуск т.п.ч. приводит к уменьшению количества остаточного аустенита и уменьшению игл мартенсита.

Исследования тонкой кристаллической структуры с помощью электронного микроскопа позволили установить изменения, проис-

ходящие в структуре металла под влиянием различных режимов отпуска, естественного старения и в процессе работы гильзы на двигателе. Было установлено, что измельчение мартенситных кристаллов и выделение карбидов начинается сразу же после закалки гильзы т.в.ч. и продолжается на протяжении всего периода отпуска, старения и работы гильзы на двигателе. Электронная структура у края поры и ее дна не отличается от структуры всей металлической основы.

С помощью рентгеноструктурного анализа показано, что за время непродолжительного низкого отпуска т.п.ч. и в муфельной печи резко уменьшается количество остаточного вустенита /от 17 до 6%/, уменьшаются напряжения второго рода.

Исследования остаточных напряжений показали, что перед закалкой напряжения в заготовках гильзы практически отсутствуют. После закалки т.в.ч. на внутренней поверхности гильзы образуются напряжения сжатия, а на наружной - растяжения. В верхней и нижней частях гильзы напряжения в 1,5 раза больше, чем в средней части. За время низкого отпуска т.п.ч. напряжения уменьшаются. При низком продолжительном отпуске в муфельной печи происходит перераспределение остаточных напряжений. На внутренней поверхности образуются напряжения растяжения, а на наружной - сжатия. Аналогичная картина наблюдается в процессе работы гильзы на двигателе и при естественном старении.

Установлено, что с увеличением, на внутренней поверхности гильзы, остаточных напряжений сжатия прямо пропорционально возрастает и площадь пор. Путем изменения времени низкого отпуска т.п.ч., следовательно, и изменения величины остаточных напряжений сжатия на внутренней поверхности, на заводском конвейере были получены гильзы с площадью пор на зеркале от 1,5 до 50%.

Лабораторные и полевые испытания гильзы с различной площадью пор позволили установить оптимальную площадь пор значительно повышающую износостойкость зеркала.

1. На основании проведенных исследований установлено, что поры на рабочей поверхности гильзы образуются вследствие выкрашивания металлической основы по границам включений графита при механической обработке закаленной внутренней поверхности гильзы.

2. Основной причиной образования пор являются большие сжимающие напряжения, возникшие в результате фазовых превращений при термической обработке гильзы.

3. У гильзы с площадью пор 14-20% за счет улучшения условий смазки пары трения гильза-кольцо маслом задержанным порами, в 1,5-2 раза увеличивается износостойкость зеркала по сравнению с гильзами имеющими площадь пор 1,5-8%, т.е. гильзы, эксплуатация которых разрешена ГОСТом 655-66. Поэтому для производства рекомендуются гильзы с площадью пор зеркала 14-20% глубиной 300-400 мк и длиной по наибольшему измерению до 800 мк.

На основании проведенных исследований предлагается следующий технологический процесс получения гильзы цилиндров с площадью пор на рабочей поверхности 14-20%:

1. Закалку внутренней поверхности гильзы производить т.в.ч. при температуре 920-980°C;

2. После закалки т.в.ч. производить отпуск с помощью т.п.ч. при температуре 200-270°C в течение 5-20 сек;

3. После кратковременного низкого отпуска производить первую черновую расточку;

4. Для снятия остаточных напряжений, которые могут привести к короблению гильзы во время дальнейшей механической обработки, складского хранения и монтажа на двигателе, после первой черновой расточки производить отпуск с помощью т.п.ч. в течение 30-60 сек. при температуре 240-270°C.

Условный экономический эффект вследствие эксплуатации гильзы цилиндров с площадью пор 14-20%

Гильзы цилиндров с площадью пор 14-20% имеют износ в 1,5-2 раза меньше чем износ гильзы устанавливаемых на тракторные двигатели в настоящее время.

Повышенная износостойкость пористых гильз обеспечивает следующий экономический эффект.

Средняя стоимость выпускаемой гильзы составляет 3 рубля. Для производства пористой гильзы необходим дополнительный

низкий отпуск в течение 5-20 сек., что на 20 копеек удорожит ее стоимость.

Ежегодно по СССР в качестве запасных частей расходуется около двух миллионов гильз общей стоимостью шесть миллионов рублей. Применение пористых гильз на тракторных двигателях повысит их износостойкость в 1,5-2 раза, что даст экономии денежных средств порядка 1,2 миллиона рублей в год и сократит затраты времени простоя машин в ремонте.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы:

1. Исследование деформации гильзы цилиндра двигателя в процессе его работы. "Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах Украинской ССР", К., Изд-во "Машиностроение", 1968.

2. Стійкість проти спрацювання пористих гільз циліндрів тракторних двигунів, зб. "Механізація і електрифікація виробничих процесів у сільському господарстві", К., 1968, випуск 5.

3. Износ гильз цилиндров тракторных двигателей с различной пористостью их рабочей поверхности, зб. "Исследование по механизации и электрификации сельского хозяйства", К., 1971, выпуск 34.

4. Остаточные напряжения в гильзах цилиндров тракторных двигателей /в печати/, зб. "Материалы сельскохозяйственного машиностроения и их обработка", Изд-во "Урожай", К.

5. Производство отливок цилиндрических гильз /в печати/, зб. "Материалы сельскохозяйственного машиностроения и их обработка", изд-во "Урожай", К.

Результаты исследований были доложены:

1. На сессии металловедения и термической обработки "Мехзаводская школа по обмену опытом в области металловедения и термической обработки металлов и сплавов" /г.Киев, июнь 1971/.

2. На научно-технической конференции факультета механизации сельского хозяйства УСХА /апрель, 1969/.

3. На объединенном семинаре кафедр ремонта машин и технологии металлов УСХА /март, 1971/.

Отпечатано на роталпринте ЦК ДКСМ Украины.
БФ № 21864 28-8-71г.
Тираж 150 экз. об"ем 1 печ. л.