Разработка технологии изготовления гильзы цилиндра двигателя с использованием элементов реверсивного инжиниринга.

САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ
Опорный университет

Команда проекта

Руководитель проекта —
Майдан Дмитрий Александрович,
к.т.н., доцент, доцент кафедры МПМН, ФММТ

Участники:

Азязов Эдуард Олегович,	гр. 3-22ФММТ-101
Головин Павел Викторович,	гр. 3-22ФММТ-101
Загумённов Кирилл Алексеевич,	гр. 3-22ФММТ-101
Леонов Андрей Денисович,	гр. 3-22ФММТ-106
Лимов Артём Сергеевич,	гр. 3-22ФММТ-106
Фадеева Елизавета Максимовна,	гр. 3-22ФММТ-106

Куратор от ООО «ИТ-Сервис» —
Ермошкин Антон Александрович,
к.т.н., начальник испытательного центра

Докладчики



Эдуард Азязов



Павел Головин

Индустриальный партнёр — ООО «ИТ-Сервис»



Компания основана в 2002 году. Выполняет разнообразный спектр инжиниринговых, проектных и научных работ в области добычи, транспортировки и переработки нефти и газа.

Адрес: 443001, г. Самара, ул. Ульяновская/Ярмарочная, д. 52/55
Телефон: (846) 212-00-39
Электронная почта: sekr@its-samara.com
Сайт: http://its-samara.com

Тема настоящего проекта предложена ООО «ИТ-Сервис». Все исследования проводились на оборудовании и под руководством сотрудников ООО «ИТ-Сервис».

Актуальность проекта



В настоящее время в российской промышленности очень остро стоит вопрос импортозамещения.

Для расширения рынка, создания новых продуктов и усиления конкурентных позиций отечественные производители прибегают к наиболее эффективным и краткосрочным технологиям производства.

Реверсивный инжиниринг является процессом проектирования и изготовления изделий в обратном порядке: по имеющимся образцам импортной продукции, используя инструменты системного анализа, данные по материалу, его свойствам, конфигурации, разрабатывают модель и определяют алгоритм и способы производства, которые были использованы при производстве продукта.

Цель проекта

Выполнить сравнительный анализ свойств гильзы блока цилиндров двигателя внутреннего сгорания Caterpillar и гильзы-аналога отечественного производства с целью оценки технологий производства различных изготовителей.

Задачи проекта

1. Определить материал и свойства гильзы блока цилиндров двигателя внутреннего сгорания Caterpillar серии G3600 и гильзы-аналога отечественного производства.
2. Провести сравнительный анализ свойств указанных гильз.

Продукт проекта



Caterpillar



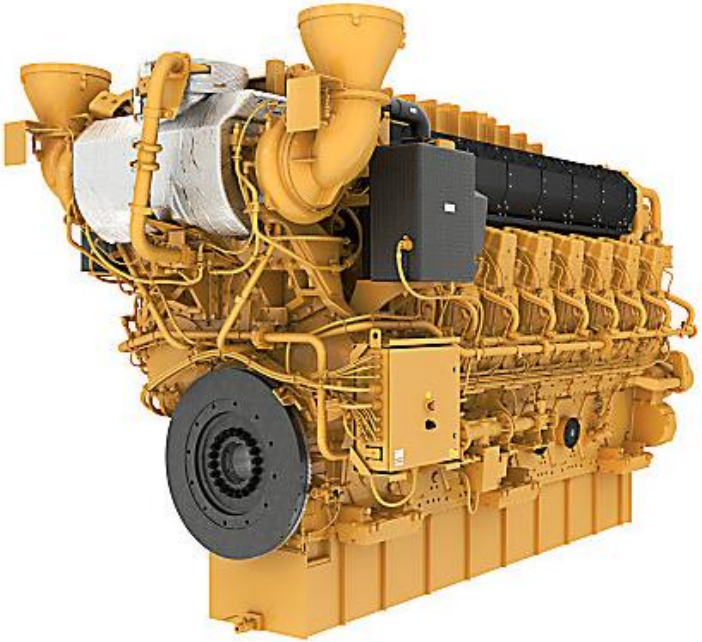
Аналог отечественного производства

Две гильзы блока цилиндров ДВС двух различных производителей:
— Производства Caterpillar;
— Аналог отечественного производства.

Гильза производства Caterpillar является прототипом для гильзы отечественного производства.

Технология изготовления включает:
— Отливку заготовки;
— Термическую обработку заготовки;
— Последующую механическую обработку.

Двигатель Caterpillar





Двигатель внутреннего сгорания Caterpillar серии G3600.
Габаритные размеры двигателя: длина — 5,9 м; ширина — 2,6 м; высота — 3,3 м

Анализ рынка



Анализ рынка реверсивного инжиниринга в нефтегазовом машиностроении России:

— Текущая оценка на 2024 год — 6…8 млрд рублей, значительный рост с 2022 года из-за санкций и импортозамещения.

— Прогноз на 2025—2030 годы — 12…18 млрд рублей к 2030 году.

Источники данных:
Аналитические отчеты (BusinesStat);
Открытые данные Минпромторга (экстраполяция по госзакупкам на сайте zakupki.gov.ru);
Отраслевые публикации (Oil & Gas Journal).

Что сделано по проекту

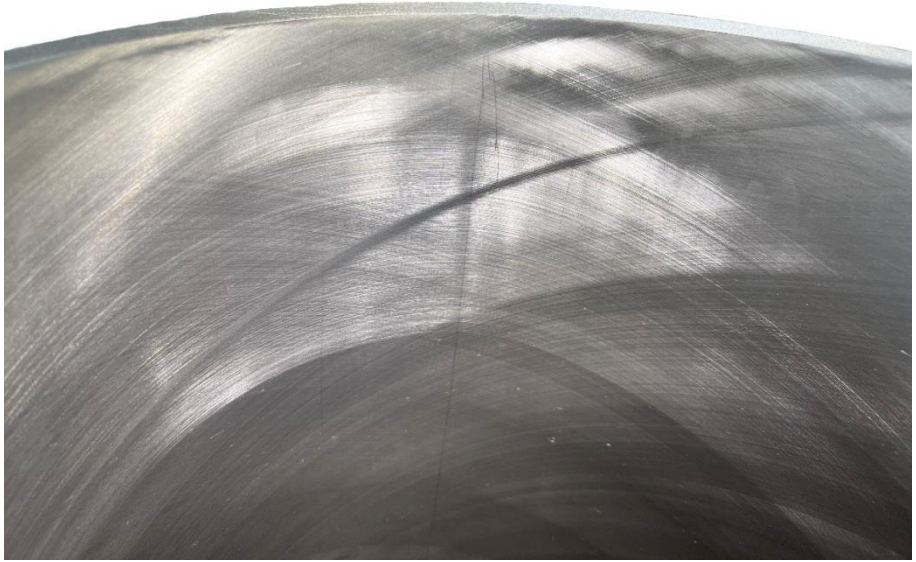
Комплекс лабораторных сравнительных исследований гильз блока цилиндров ДВС включал:

1. Визуально-измерительный контроль, установление соответствия геометрических параметров.
2. Химический анализ металла атомно-эмиссионным спектральным методом по ГОСТ Р 54153-2010.
3. Испытания на одноосное растяжение при комнатной температуре по ГОСТ 1497-2023.
4. Испытания на ударный изгиб KCV при комнатной температуре по ГОСТ 9454-78.
5. Определение твердости металла по ГОСТ 9013-59.
6. Металлографические исследования на оптическом микроскопе, включая оценку по ГОСТ 3443-87.
7. Металлографические исследования на электронном микроскопе.
8. Рентгенофазовый анализ внутреннего упрочняющего слоя на гильзе производства Caterpillar.
9. Испытание на одноосное растяжение при повышенных температурах.
10. Построение цифровой модели конструкции с последующим исследованием методом конечных элементов.

Визуально-измерительный контроль

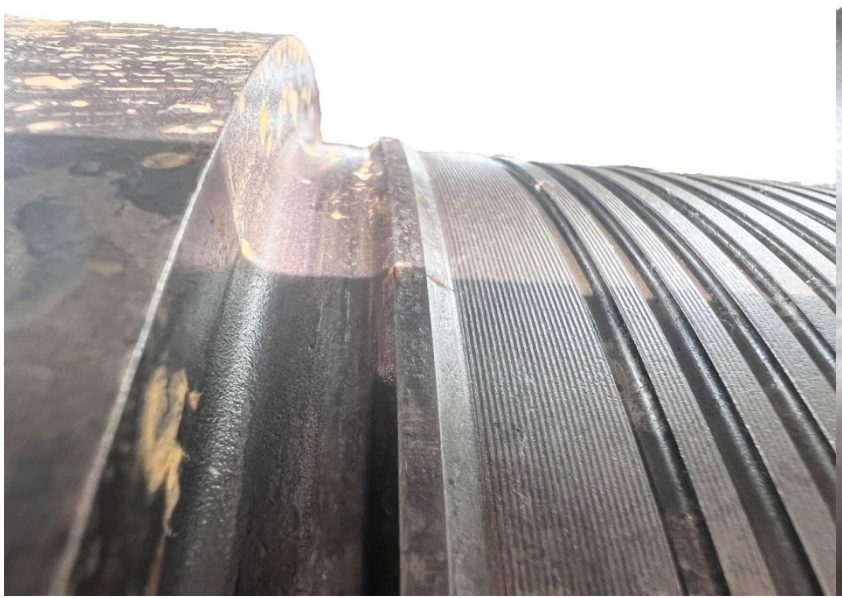


Caterpillar

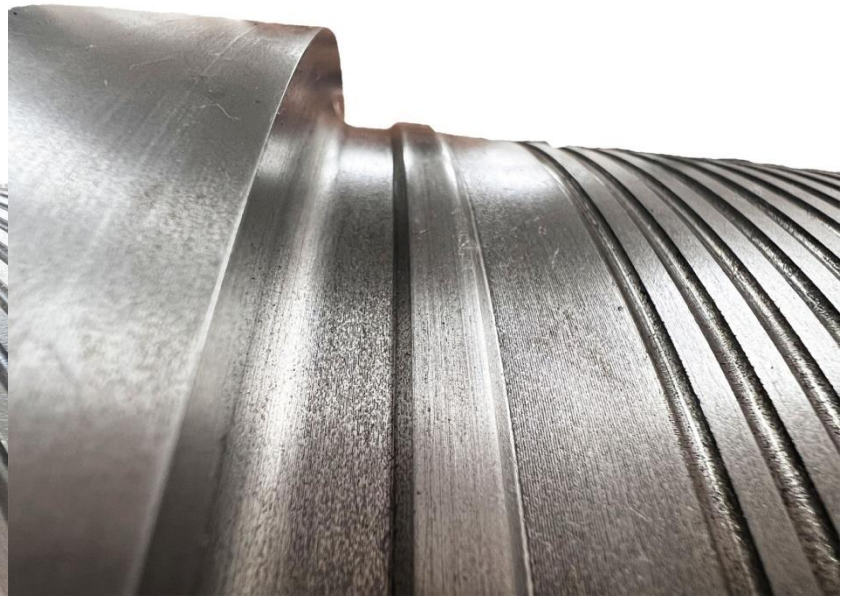


Аналог отечественного производства

Визуально-измерительный контроль



Caterpillar



Аналог отечественного производства

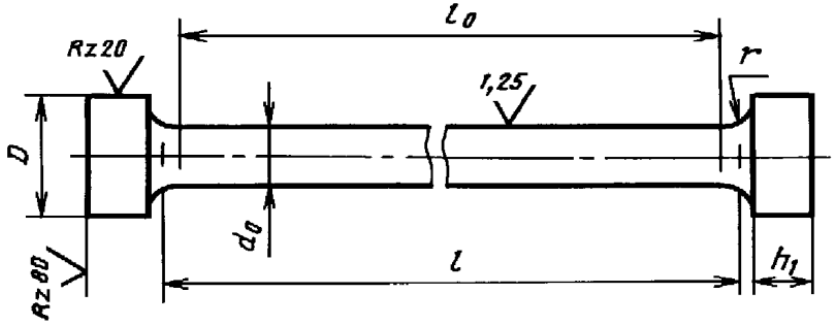
Химический анализ металла

Марка	Массовая доля элементов, %											
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	V	Mo	Fe	Al	P	S
Caterpillar	3,24	1,94	0,73	0,08	0,49	0,20	0,016	0,22	93,09	0,006	0,034	0,016
Аналог	3,29	2,16	0,95	0,41	0,63	0,66	0,009	0,30	91,42	0,008	0,014	0,007
Требования ГОСТ 1412-85 для чугуна марки СЧ25												
	3,2—3,4	1,4—2,2	0,7—1,0								<0,2	<0,15

Химический анализ выполнялся атомно-эмиссионным спектральным методом в соответствии с ГОСТ Р 54153-2010. По содержанию основных элементов состав металла объектов исследования близкий. Обе исследуемые гильзы изготовлены из серого чугуна марки СЧ25. Содержание легирующих элементов (хром, медь, молибден) в гильзе отечественного производства больше, чем в гильзе производства Caterpillar, а содержание вредных примесей (серы и фосфора) — меньше.

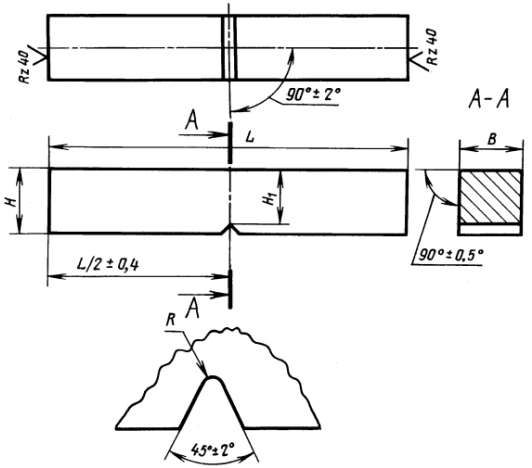
Испытание на растяжение

Марка	Вид образца	Предел прочности на растяжение, $\sigma_в$, МПа
Caterpillar	Цилиндрические, Ø 5 мм	302…313
Аналог	Цилиндрические, Ø 5 мм	271…282

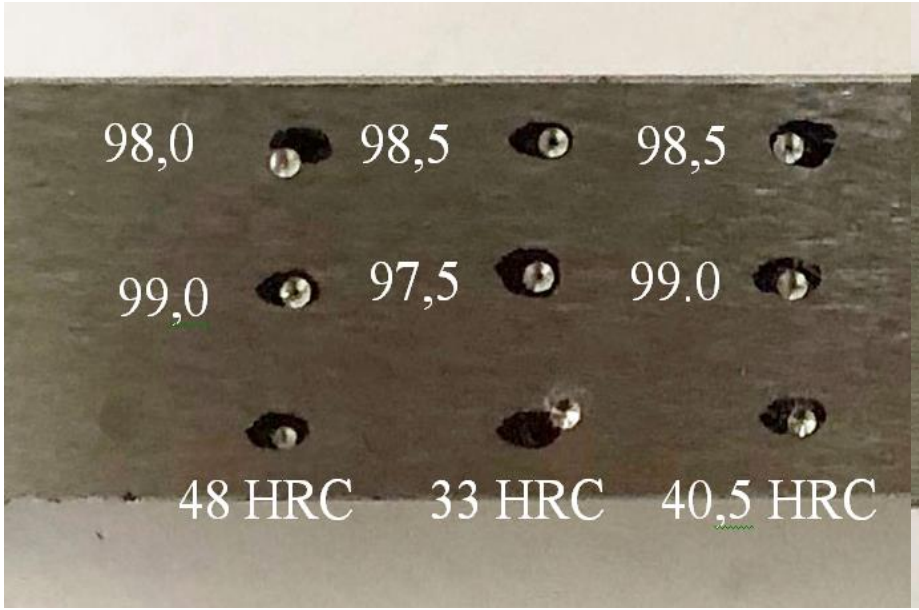


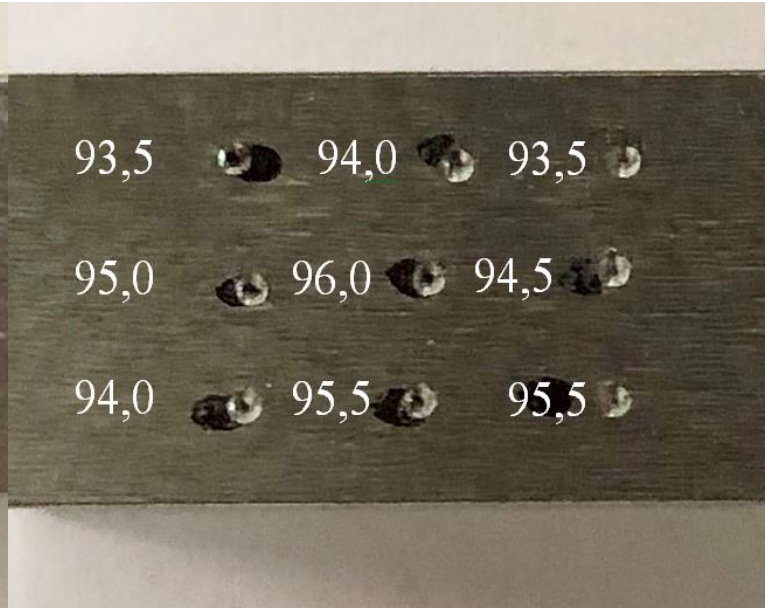
Испытание на ударный изгиб

Марка	Ударная вязкость KCV, Дж/см^2
Caterpillar	6,5
Аналог	6,5



Определение твёрдости металла





Caterpillar

Аналог отечественного производства

Металлографические исследования

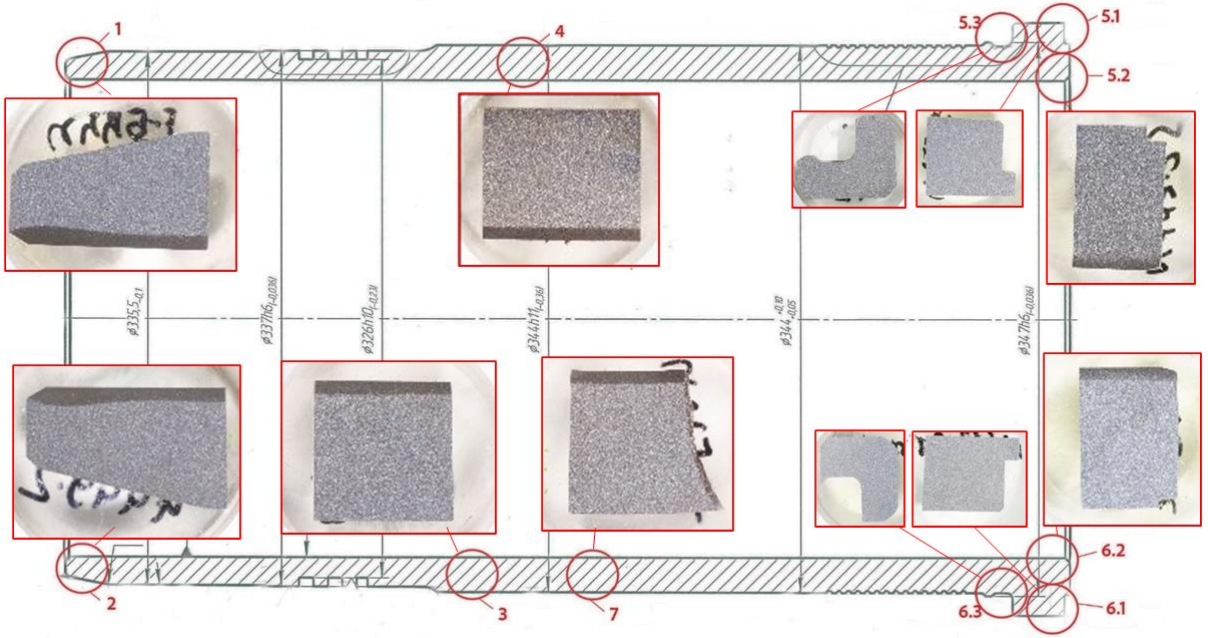
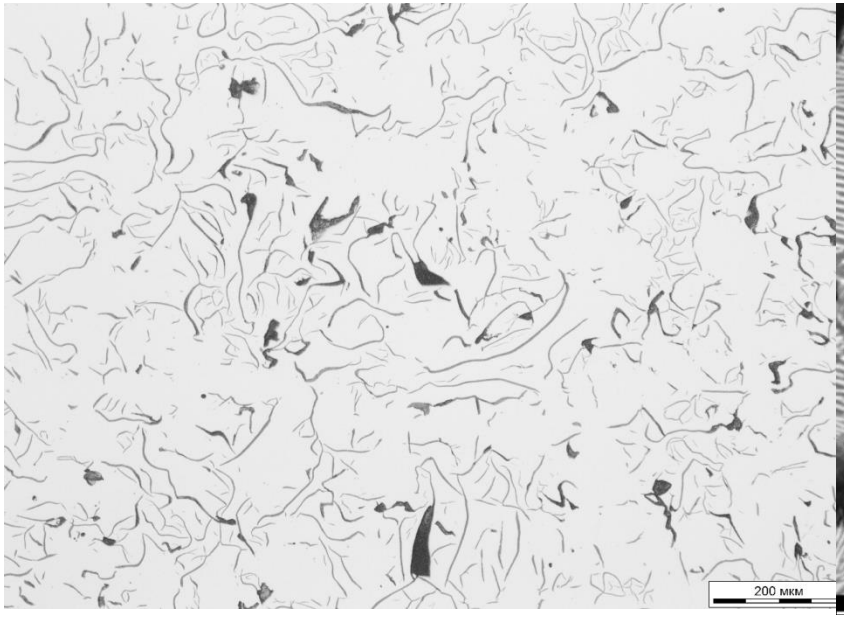
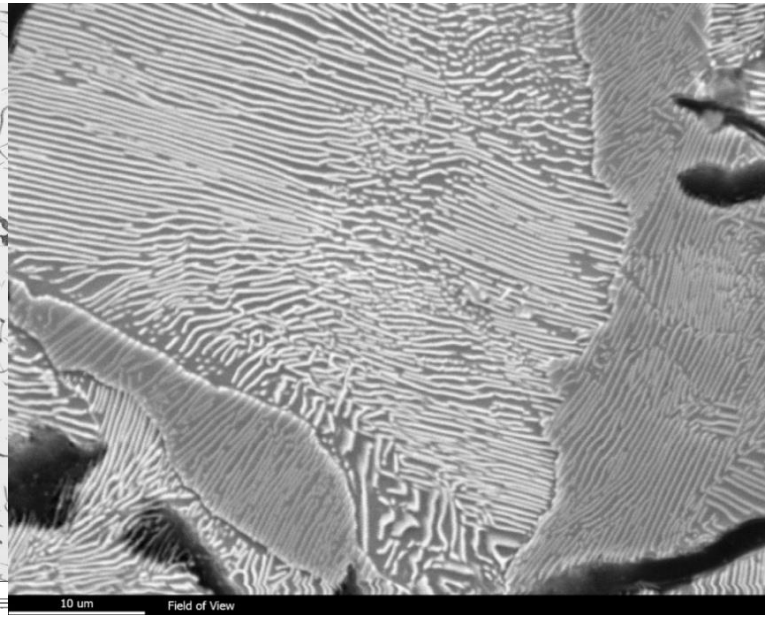


Схема вырезки металлографических шлифов

Оптическая и растровая микроскопия

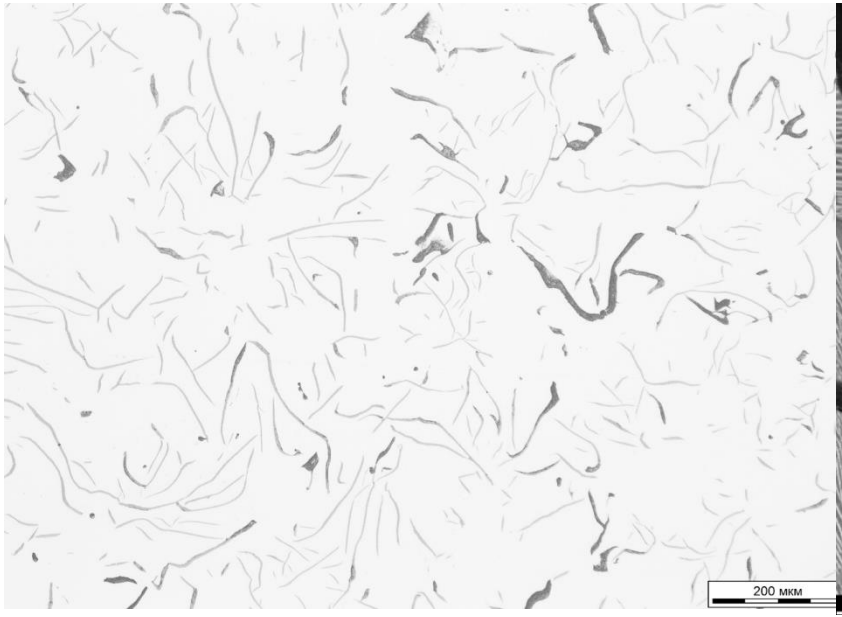


Гильза Caterpillar. Место вырезки образца «1».
Не травленный образец (х100)

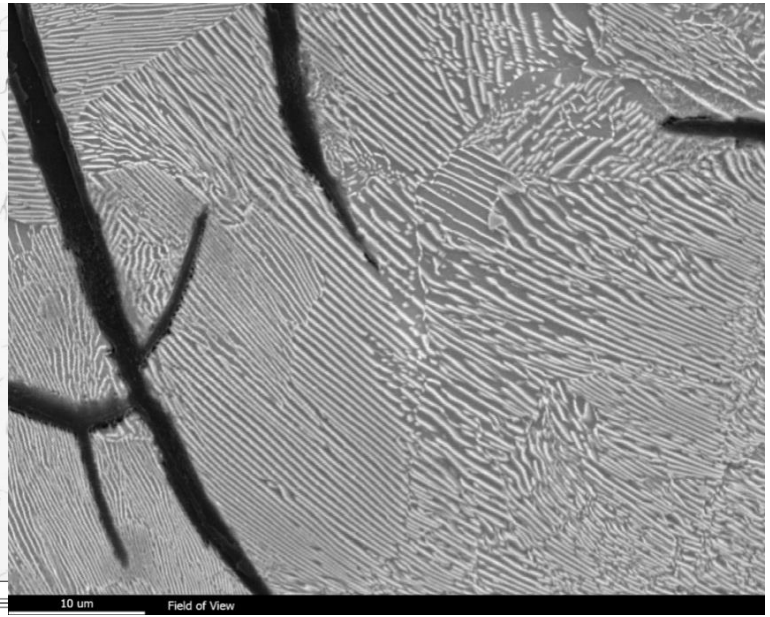


Гильза Caterpillar.
Место вырезки образца «3».

Оптическая и растровая микроскопия

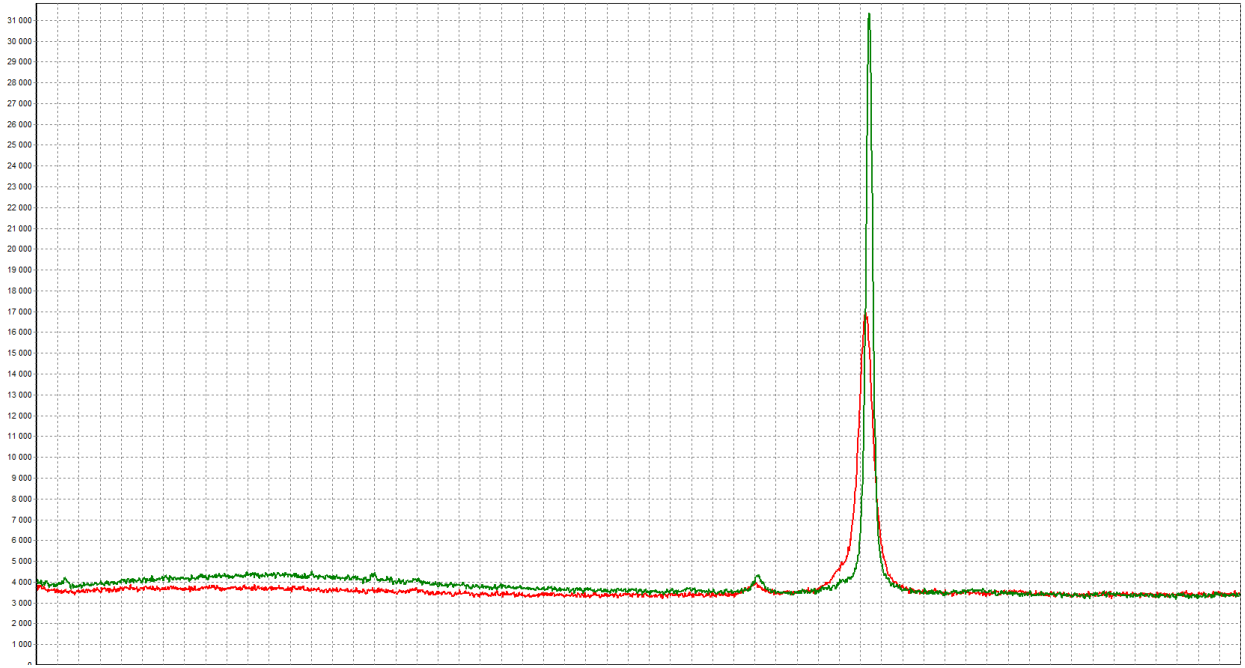


Гильза отечественного производства. Место вырезки образца «1».
Не травленный образец (х100)



Гильза отечественного производства.
Место вырезки образца «3».

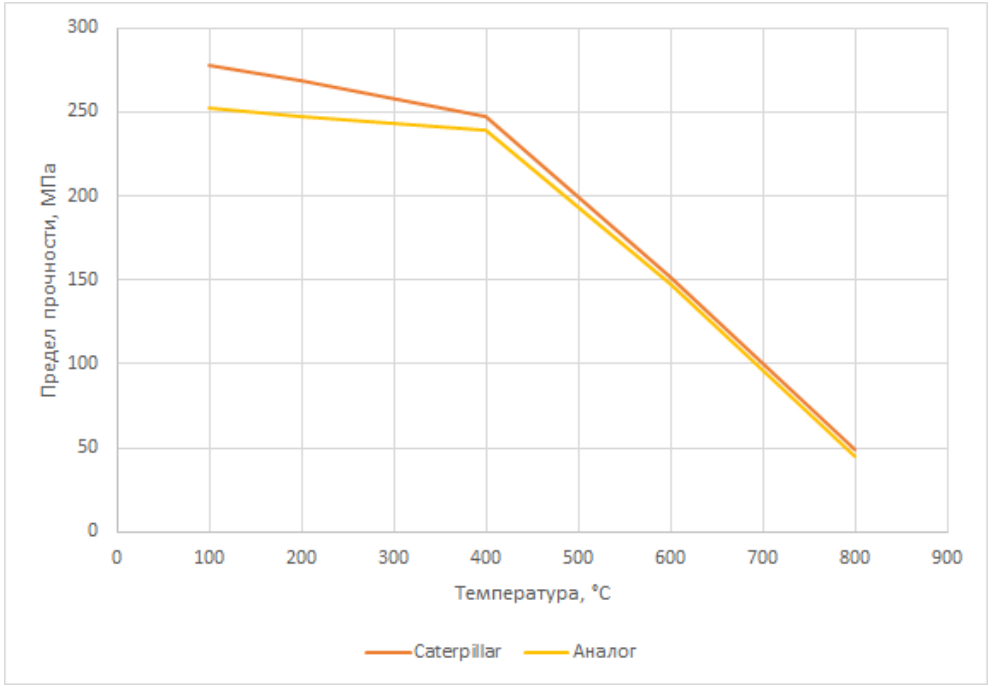
Рентгенофазовый анализ упрочняющего слоя



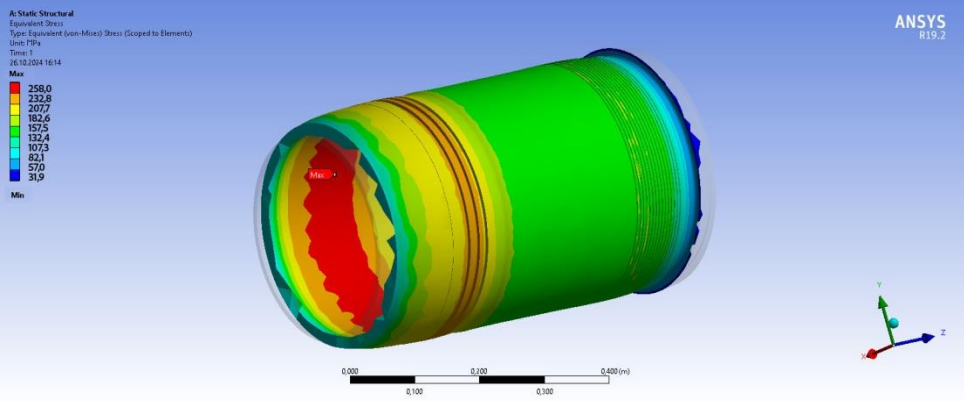
Сравнительный анализ рентгенограмм фазового состава основного металла и упрочняющего слоя гильзы блока цилиндров производства Caterpillar

Наружная поверхность
Внутренняя поверхность

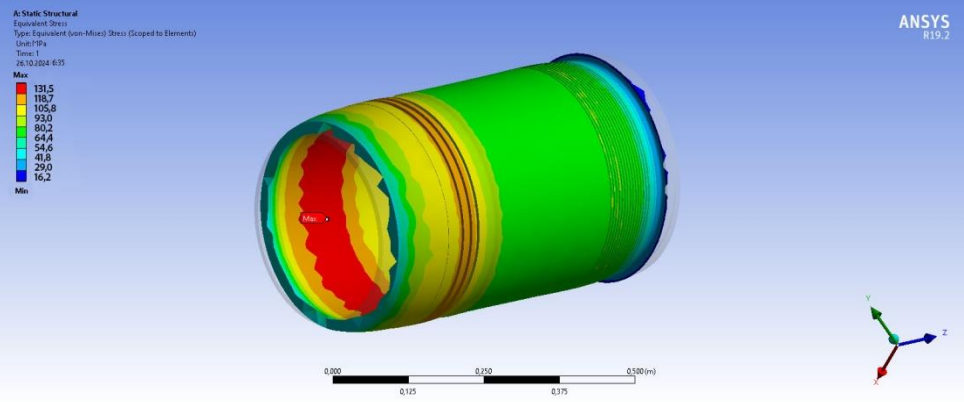
Испытание на одноосное растяжение при повышенных температурах



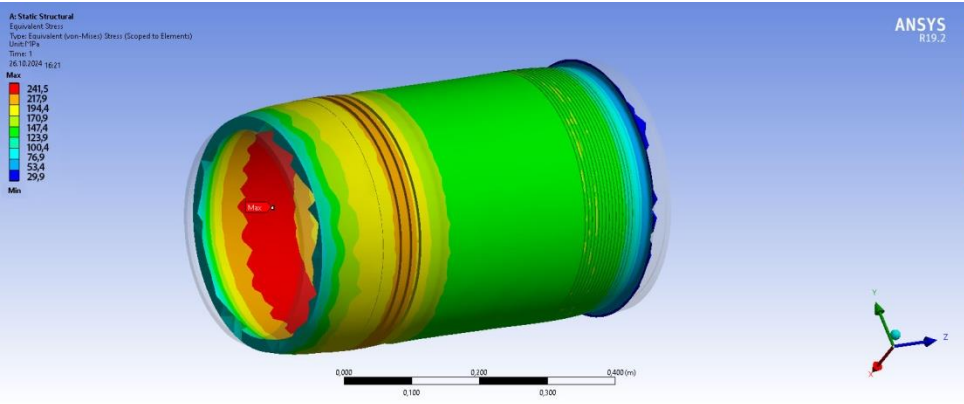
Зависимость предела прочности $\sigma_в$ от температуры испытания



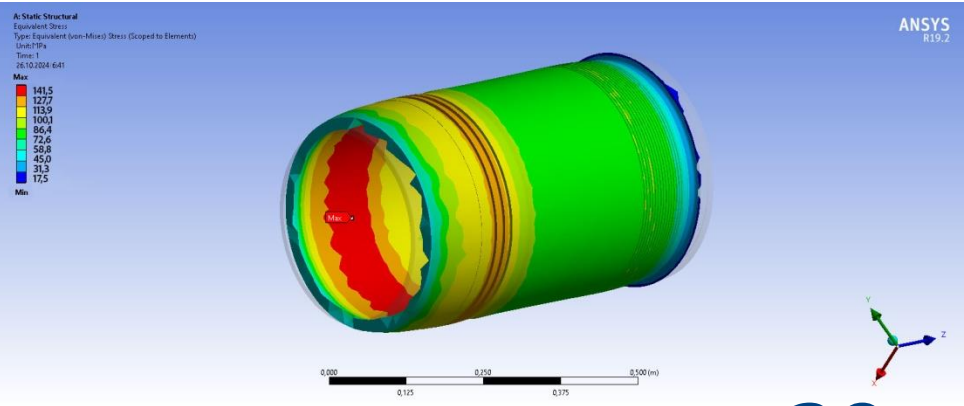
Caterpillar при 100 °C



Caterpillar при 600 °C



Отечественный аналог при 100 °C



Отечественный аналог при 600 °C

Выводы

Проведенный сравнительный анализ свойств металла гильзы цилиндра ДВС Caterpillar и гильзы-аналога отечественного производства показал:

1. Выявлено незначительное различие в геометрии отдельных элементов наружной поверхности гильз.
2. Исследуемые гильзы изготовлены из серого чугуна марки СЧ25.
3. Среднее значение предела прочности металла гильзы отечественного производства на 10 % ниже значения прочности металла гильзы производства Caterpillar.
4. На внутренней поверхности гильзы производства Caterpillar имеется упрочняющий слой, который характеризуется повышенной твердостью. Разницы в химическом составе данного слоя и основного металла гильзы не выявлено. Вероятной природой формирования данного поверхностного слоя является термомеханическое упрочнение.
5. Металл исследуемых гильз имеет структуру, представленную перлитной матрицей и пластинчатыми выделениям графита.
6. Предел прочности и предел текучести металла обеих исследуемых гильз немонотонно уменьшается при повышении температуры испытания от 100 до 800 °С. Гильза блока цилиндров отечественного производства имеет более низкий уровень прочностных свойств по сравнению с гильзой производства Caterpillar. Потеря прочностных свойств металла гильзы производства Caterpillar на 7 % меньше, чем металла гильзы отечественного производства.
7. Максимальные напряжения расположены с внутренней стороны гильзы в зоне расположения канавок под уплотнительные кольца (канавки расположены с наружной стороны гильзы).
8. Рекомендуется проведение опытно-промышленных испытаний гильзы отечественного производства.

Спасибо за внимание!

2025 © ИТ-Сервис