

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»  
Институт машиностроения  
(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»  
(наименование)

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств»  
(код и наименование направления подготовки)

Технология автоматизированного машиностроения  
(направленность (профиль))

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему «Совершенствование технологического процесса и конструкции  
картера сцепления коробки передач»

Студент

В.В. Мусина

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

к.т.н., доцент, Д.Ю Воронов

руководитель

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

## Содержание

Введение.....	3
1 Корпусные детали. Общие сведения.....	5
2 Обзор существующих дефектов корпусных деталей .....	8
3 Проектирование картеров сцепления для коробок передач .....	14
3.1 Сравнительный анализ характеристик и выбор материала для картера сцепления .....	14
3.2 Проектирование картера сцепления .....	29
4 Анализ технологического процесса изготовления картера сцепления .....	49
Заключение .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
Список используемых источников.....	79
Приложение А Сертификат о наличии публикаций в научном журнале СибАК.....	83

## Введение

Одним из основных направлений развития машиностроения является повышение конкурентоспособности продукции на международном рынке. Машиностроение занимает особое место в экономике, поскольку оно играет ведущую роль в индустриализации страны. Ключевой вопрос в обеспечении конкурентоспособности продукции машиностроительных производств – качество изделий и эксплуатационные характеристики. Автомобилестроение, является одной из ведущих отраслей машиностроения, постоянно находится в процессе развития. достижения максимальных скоростей, комфорта высокого уровня и обеспечения передовыми технологиями производимых транспортов.

Силовой агрегат – один из основных узлов автомобиля, являющийся источником энергии, который должен обладать всеми характеристиками, соответствующими ожиданиям потребителей. Работая в широком диапазоне нагрузочных и скоростных режимов, компоненты силового агрегата должны быть обеспечены постоянством точности и расположения относительно других узлов с помощью корпусных деталей. Качество изготовления этих деталей, в свою очередь, напрямую влияют на эксплуатационные характеристики.

Корпусные детали занимают существенную часть (до 75%) от общей массы узла или механизма. Следовательно, они являются материалоемкими. Помимо этого, эти детали, зачастую, имеют сложную геометрию, со множеством плоскостей разной точности. Также, к корпусным деталям применяются жесткие требования, которые должны быть соблюдены на всех этапах разработки и производства.

Дефекты корпусных деталей, как правило являются упущениями при проектировании и изготовлении, и должны исключаться на стадиях производства. Одним из путей решения проблемы, является обеспечение требуемых характеристик деталей, к которым относятся правильно

подобранные материалы, конструкцию, и геометрические показатели, а также важен контроль качества полученных заготовок на всех этапах, от разработки до эксплуатации. Несоответствия деталей конструкторским требованиям приводят к значительному уменьшению ресурса узла в целом, что может повлечь за собой аварийные ситуации. А это значит, что анализ возникающих дефектов на всех этапах жизни детали и введение контрольных операций после механической обработки значительно предупредят их возникновение во время эксплуатации.

В качестве исследуемой детали, в данной работе, рассмотрен картер сцепления коробки передач, это связано с тем, что в настоящее время модернизированные силовые агрегаты внедряются на существующие платформы автомобилей с оригинальными картерами сцепления для адаптации к разным семействам двигателей. В связи с этим картера сцепления, считаются одними из наиболее сложно проектируемых деталей. Дефекты картера сцепления могут повести за собой несоосность внутренних компонентов, деформации и разрушения, которые существенно влияют на ресурс силового агрегата в целом.

Исходя из этого, требуется усовершенствовать технологический процесс, чтобы снизить дефектность до минимума, а также снизить затраты на производства картеров, путем уменьшения количества браков.

На основе вышесказанного, целью данной работы является повышение качества и оптимизации прочностных характеристик картера сцепления коробки передач на основе существующих средств и методик, выведенных при анализе процесса создания детали. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести обзор возможных дефектов корпусных деталей;
- провести сравнительный анализ расчета на прочность двух сплавов;
- провести анализ этапов технологического процесса;
- сформулировать технологические рекомендации по улучшению качества детали.

## **1 Корпусные детали. Общие сведения**

Корпусные детали — это детали, которые обеспечивают взаимное расположение деталей конкретного узла. Корпусные детали воспринимают все основные нагрузки, действующие на узел в процессе его эксплуатации.

Корпусные детали зачастую имеют сложную геометрию, поэтому для производства данных деталей в основном используют такой метод изготовления как литье, а также используют метод сварки (при единичном и мелкосерийном производстве).

В большинстве случаев, для литья корпусных деталей используют такие материалы как чугун или сталь. Если же для детали существует требование по наименьшей материалоемкости, применяют магниевый и алюминиевый сплавы.

Стоит отметить, что корпусная деталь представляет собой систему стенок, бобышек, ребер и фланцев, объединённых в единую деталь.

Существует классификация корпусных деталей:

- по конструктивной сложности;
- по взаимодействию с внешней средой;
- по хранению запаса масла;
- по материалу.

По конструктивной сложности корпусные детали могут быть простыми или сложными. По взаимодействию с внешней средой корпусные детали разделяют на открытые, закрытые и полужакрытые. По хранению запаса масла разделяют на сухие и маслonaполненные. Корпусные детали, в зависимости от применяемого материала, делятся на металлические и неметаллические.

В данной работе, в качестве примера, был рассмотрен картер сцепления коробки передач. Он является сложной корпусной деталью, которая отвечает за защиту от внешнего воздействия на движущиеся детали расположенные в

его полости, а так же за их смазку. Картер сцепления представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Картер сцепления

Очевидно, что картер сцепления выполняет важную функцию при работе узла, поэтому при проектировании данной детали, требуется уделять внимание всем особенностям расположения двигателя и коробки передач относительно друг друга. Помимо этого, необходимо подобрать такой материал, который обеспечит устойчивость к возникающим в процессе работы узла, нагрузкам.

Исходя из классификации корпусных деталей, можно сделать вывод, что существует огромное разнообразие их конструкций, помимо этого, они могут создаваться из различных материалов. Поэтому на этапе проектирования важно уделить достаточно внимания подбору необходимых геометрических характеристик, учесть влияние всех возможных концентраторов напряжения, вибрации, требований к материалам. После чего, на основе данного этапа разработки конструкции, необходимо провести сложный инженерный расчет. В настоящее время, используют CAE системы. Это программные пакеты, способны производить симуляцию физического процесса. Данные системы не только экономят время, но и помогают

проанализировать нагрузку в каждом конечном элементе с малой погрешностью.

## 2 Обзор существующих дефектов корпусных деталей

Корпусные детали являются основой для взаимного расположения деталей и компонентов, входящих в состав узла. Сложный процесс изготовления этих деталей и материалоемкость требует предельного контроля и дорогостоящего оборудования. Воздействия, которым подвергаются корпусные детали во время эксплуатации имеют различный характер: ударные нагрузки, внутренние вибрации узла, физико-химическое воздействие внешней среды.

Появление дефектов у корпусных деталей значительно понижает технические характеристики и влияет на работоспособность узла в целом. На основе типового технологического процесса разрабатываются рабочие процессы путем анализа полученных дефектов, с целью предупреждения их образования. Дефектам и повреждениям подвержены поверхности контакта или вся деталь. На рисунке 2 представлены виды дефектов и повреждений деталей.

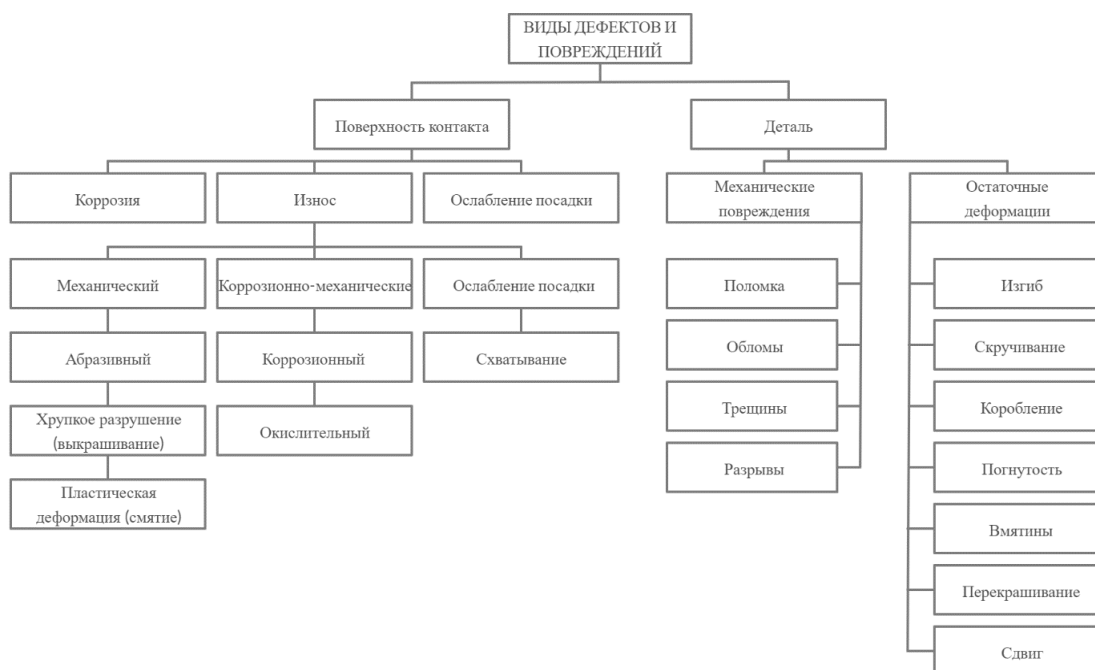


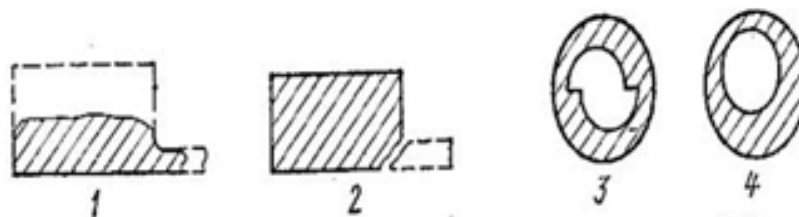
Рисунок 2 – Виды дефектов и повреждений



Представленные виды повреждений в основном относятся к дефектам, которые появляются в процессе эксплуатации. Для их предупреждения требуется обратить внимание на конструкцию детали и выбор материала. Например, для предотвращения коррозии, выбирать коррозионностойкий материал. Для повышения износостойкости – дополнительно упрочнять материал (дробеструйная обработка). Для предотвращения изгибов и скручиваний требуется выбрать материал с высоким пределом упругости либо введение в конструкцию ребер жесткости и т. д.

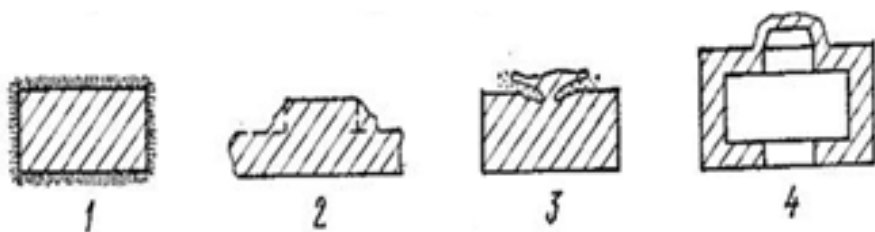
Существуют так же дефекты, которые появляются в процессе изготовления детали, их можно разделить на две подгруппы:

- Внешние дефекты – дефекты, появляющиеся на поверхности детали, в основном в процессе литья. Виды данных дефектов изображены на рисунках 3-4.



1-недолив; 2- вылом; 3-перекос; 4-разностенность.

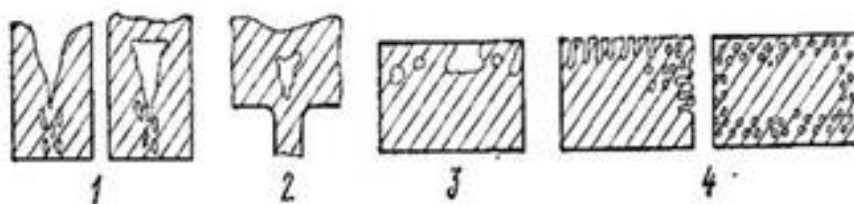
Рисунок 3 – Дефекты геометрии при литье



1-пригар; 2-нарост; 3 -ужимина; 4-залив.

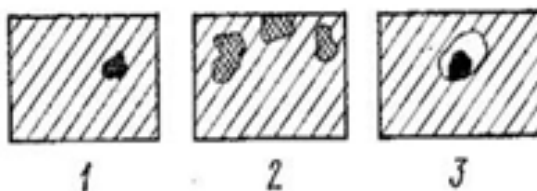
Рисунок 4 – Дефекты поверхности при литье

- Внутренние дефекты – дефекты, образующиеся при нарушении технологии выплавки, данные представлены на рисунках 5-6.



1-усадочные раковины; 2-утяжина; 3 -газовые раковины; 4 пористость.

Рисунок 5 – Несплошности при литье



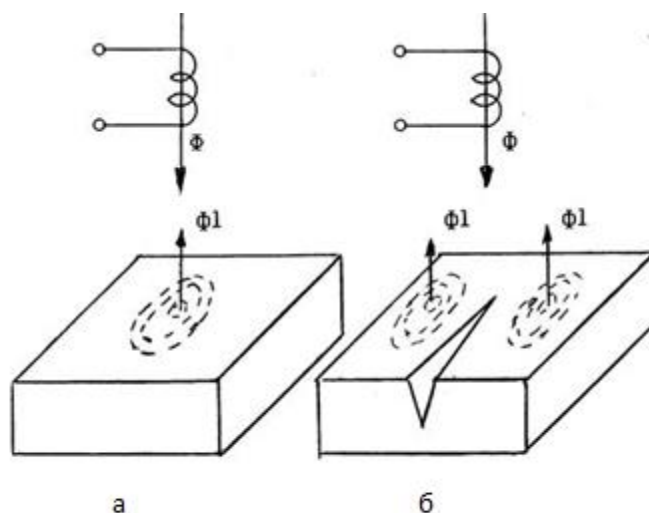
1-металлические; 2- неметаллические; 3-королек.

Рисунок 6 – Включения при литье

Появление данных дефектов у корпусных деталей значительно понижает технические характеристики и влияет на работоспособность узла в целом. На основе типового технологического процесса разрабатываются рабочие процессы путем анализа полученных дефектов, с целью предупреждения их образования. Дефектам и повреждениям подвержены поверхности контакта или вся деталь.

Для контроля качества литьевых изделий существует большое разнообразие методов дефектоскопии. Например, для внешних дефектов используется метод визуального контроля, он является самым простым, но в тоже время эффективным, так как для определения внешних дефектов не требуется специального дорогостоящего оборудования, достаточно лишь глаз человека.

В свою очередь, для определения внутренних дефектов, требуется использовать специальное оборудование, чтобы не нарушать целостность поверхности детали. Одним из таких методов является - вихретоковый. Данный метод основан на физическом законе о токах Фуко, который гласит что при непосредственной близости переменного магнитного поля вблизи с проводником, в нем появляются вихревые токи. При наличии дефекта в проводнике, эти токи создают свое вторичное магнитное поле. Вторичное магнитное поле, в свою очередь, регистрируется вихретоковым устройством. На рисунке 7 представлена схема образования магнитных полей для детали без дефекта и с ним



а - изделие без дефекта; б – изделие с дефектом.

Рисунок 7 – Образование магнитных полей в изделиях

Также прогрессивным методом неразрушающего контроля является рентгенографический контроль. Данный метод является разновидностью радиографического контроля, однако вместо радиоактивных изотопов используется рентгеновские лампы. Лучи, генерируемые лампой, проходят через деталь. При этом в местах, где металл однородный происходит более интенсивное поглощение, нежели в местах с дефектом.

Данный метод позволяет с высокой точностью выявить такие дефекты как:

- Дефекты сварных швов
- Трещины и каверны
- Включения материалов (шлаки, окислы и т.п)

Данный метод применяется не только к металлам, но и различным минералам, полимерам, а также к всевозможным органическим и неорганическим веществам.

Стоит отметить его недостатки, а именно стоимость оборудования, вред для здоровья человека, также требуются специальные материалы для фиксирования результатов дефектоскопии, тонкая настройка аппаратуры, которая влияет на точность измерений.

На рисунке 8 представлены результаты контроля сварных швов при помощи рентгенографии.

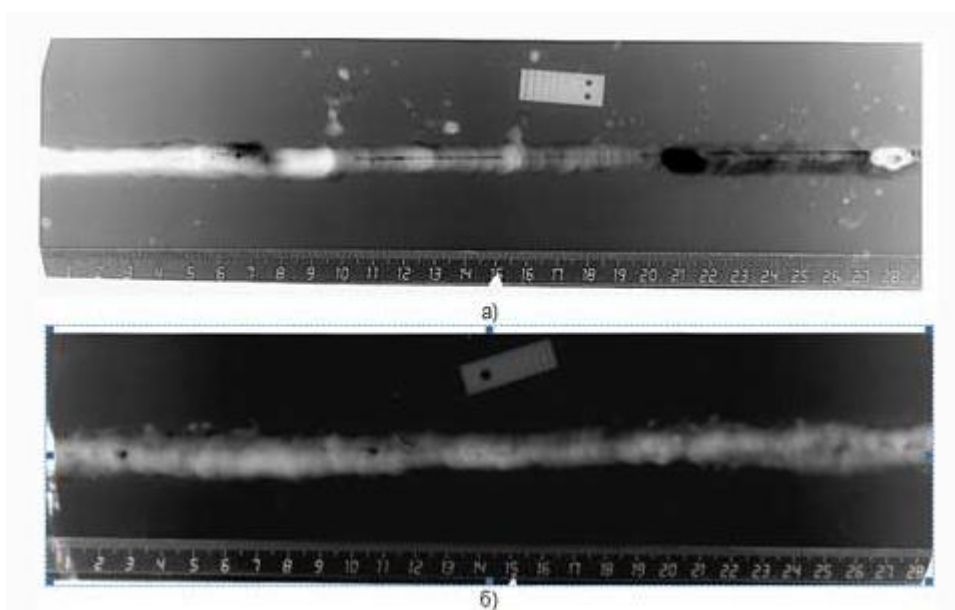


Рисунок 8 – Результаты контроля сварных швов

Дефекты, появляющиеся на всех стадиях жизни детали, и влияющие на срок службы, и прочностные характеристики, можно предупредить,

учитывая все методы их предупреждения и контроля со стадии проектирования до процесса изготовления.

К проработке конструкции можно отнести правильно подобранную геометрию детали, материал, который сможет выдерживать все нагрузки, возникающие при всех возможных условия работы детали, так же введение ребер жесткости, со стороны изготовления оснастки - увеличения ее срока службы (ресурса), к изготовленной детали - механическую обработку которая также влияет на качество. Помимо этих факторов можно отнести четкое соблюдения технологии литья, так как не на всех литейных производствах присутствует оборудование способное полностью автоматизировать весь процесс, соответственно, присутствует такое влияние как человеческий фактор.

Существует достаточно большое количество методов неразрушающего контроля способных предупредить последствия дефектов в процессе изготовления детали еще на стадии ее изготовления.

### **3 Проектирование картеров сцепления для коробок передач**

#### **3.1 Сравнительный анализ характеристик и выбор материала для картера сцепления**

Материалы, используемые для корпусных деталей, должны соответствовать стандартам, а также удовлетворять требованиям безопасности. Такие характеристики материала как прочность и стойкость ко внешним агрессивным средам, являются одними из основных показателей, который напрямую влияют на работоспособность и качество детали.

Для картера сцепления коробки передач используют алюминиевые сплавы.

Свойства алюминиевого сплава (коррозионная стойкость, прочность, жесткость и т.д.) напрямую зависят от концентрации в нем дополнительных элементов. Улучшение данных свойств сплавов достигается оптимизацией содержанием основных компонентов и легирующих элементов, а также регламентацией вредных примесей (металлических и неметаллических).

Основными легирующими элементами являются медь, магний, марганец, кремний, олово и цинк. Также используются никель, титан, иногда железо.

Каждый легирующий элемент оказывает свое влияние на сплав в целом. Рассмотрим каждый элемент и его влияние на сплав.

- Медь (Cu) - обеспечивает существенное увеличение прочности. Внедрение меди в сплав способна снизить пластичность и коррозионную стойкость. При содержании меди в составе алюминиевого сплава равного 0,5—4,5% практически не отражается на упрочнении сплава при нормальной температуре, однако при высоких температурах 300 С способствует существенному повышению прочности. Это объясняется тем, что высокое содержание меди повышает межатомную связь твердого

раствора, содержащего марганец, магний и другие аналогичные элементы. При концентрации меди в сплаве 4 - 6%, достигается его максимальное упрочнение. Зачастую медь используется в аэрокосмической, военной и ракетной промышленности, она так же используется и для автомобильной промышленности, например для поршней ДВС. На рисунке 9 изображена медь.



Рисунок 9 – Медь

- Марганец (Mn) – при добавлении марганца в состав алюминия ведет за собой улучшение показателя деформационного упрочнения, при этом, такие показатели как пластичность и коррозионная стойкость не изменяются. Сохраняет прочность при использовании на материалах которые не подвергаются термообработке.. Марганец применяется при изготовлении радиаторов, испарителей, теплообменников и т.п. На рисунке 10 изображен марганец.



Рисунок 10 – Марганец

- Кремний (Si) - добавление кремния в алюминиевый сплав снижает температуру плавления и улучшает текучесть. Однако наличие одного лишь кремния в сплаве алюминия не поддается термообработке; поэтому используют дополнительные легирующие элементы, например магний, в паре с которым он образует термобрабатываемый сплав с увеличенным показателем прочности. Кремний к алюминию обычно добавляют для изготовления деталей литьем. На рисунке 11 изображен кремний.



Рисунок 11 – Кремний



- Магний (Mg) – увеличивает прочность, а также способность к деформационному упрочнению. Сплавы алюминия с магнием являются высокопрочными, которые не подвергаются термообработке. На практике сплавы алюминия и магния используются в виде листов и редко в виде прессованных изделий. На рисунке 12 изображен магний.



Рисунок 12 – Магний

- Цинк (Zn) - добавление цинка в алюминий в сочетании другими элементами дает термообработываемые алюминиевые сплавы с наибольшей прочностью. Однако эти сплавы могут быть подвержены коррозионному растрескиванию под напряжением. На рисунке 13 изображен цинк.



Рисунок 13 -Цинк

- Железо (Fe) - является одним из наиболее распространенных примесей, встречающихся в алюминии. Железо способно обеспечить небольшое увеличение прочности. На рисунке 14 изображено железо.



Рисунок 14 – Железо

- Никель (Ni) - никель положительно влияет на увеличение твердости и прочности при относительно высоких температурах. Также способствует уменьшению коэффициента расширения металла. Никель

часто используют для алюминиево-медных и алюминиево-кремниевых сплавов. На рисунке 15 представлено изображение никеля.



Рисунок - 15 – Никель

- Титан (Ti) - титан добавляется в алюминий в основном в качестве рафинера. Титан является обычным дополнением к алюминиевой сварочной присадочной проволоке, поскольку он улучшает структуру сварного шва и помогает предотвратить его растрескивание. На рисунке 16 изображен титан.



Рисунок 16 – Титан

Существующая классификация алюминиевых сплавов позволяет подобрать материал с необходимыми для изготавливаемых деталей

характеристиками. Качественное сырье для приготовления сплавов, контроль производства и современные методы анализа химического состава позволяют контролировать предельные содержания вредных примесей и оптимизировать производство, согласно регламентированным стандартам.

Основными стандартами в России являются ГОСТ 1583 «Сплавы алюминиевые литейные. Технические условия» и ГОСТ 4784 «Алюминий и сплавы алюминиевые деформируемые. Марки».

В настоящее время, в связи с производственной необходимостью на предприятиях разрабатываются внутренние стандарты (СТП), которые включают в себя особые требования к продукту и процессу, действующие только в его пределах. Согласно данному стандарту основным сплавом для изготовления картерных деталей является сплав алюминиевый АК12М2. В таблице 1 представлен химический состав данного сплава. В таблице 2 представлены характеристики сплава в зависимости от способа литья.

Таблица 1 – Химический состав в % материала АК12М2. По ГОСТ 1583 – 93

Fe	Si	Mn	Ni	Ti	Al	Cu	Pb	Mg	Zn	Sn	Примесей
0.6 - 1	11 - 13	до 0.5	до 0.3	до 0.2	81.55 - 86.6	1.8 - 2.5	до 0.15	до 0.2	до 0.8	до 0.1	всего 2.2

Таблица 2 – Характеристика сплава АК12М2 в зависимости от способа литья и наличия термообработки

Способ литья	Вид термической обработки	Временное сопротивление разрыву, МПа (кгс/мм <sup>2</sup> )	Относительное удлинение, %	Твердость по Бринеллю НВ
		не менее		
К	-	186(19,0)	1,0	70,0
Д	T1	260(26,5)	1,5	83,4

К – литье в кокиль; Д – литье под давлением.

В зарубежной практике при производстве алюминиевых литейных сплавов большое внимание уделяется постоянству и однородности физико-механических свойств и эксплуатационных характеристик, которые обеспечиваются узкими интервалами содержания легирующих компонентов, в частности кремния, и снижению содержания примесей, особенно вредных, которое достигается благодаря применению современных высокоэффективных методов рафинирования расплава перед отливкой чушек. В этом отношении отечественные литейные высококремнистые алюминиевые сплавы системы Al-Si-Mg марок АК9, АК8 и АК7 заметно уступают зарубежным сплавам-аналогам. Содержание вредных примесей в указанных сплавах выше, чем в зарубежных сплавах-аналогам.

Силумины охватывают двойные сплавы системы Al-Si (АЛ2) и сплавы на основе более сложных систем: Al-Si-Mg (АЛ9); Al-Si-Cu (АЛ3, АЛ6); Al-Si-Mg-Cu (АЛ5, АЛ10). Сплавы этой группы характеризуются хорошими литейными свойствами, сравнительно высокой коррозионной стойкостью, высокой плотностью, средней прочностью и применяются для сложных отливок.

Для получения и сравнения значений основных механических свойств:  $R_e$  ( $R_p 0,2$ ) - предела текучести,  $R_m$  - предела прочности при растяжении и  $HВ$  - твердости металла проводятся испытания.

Предел прочности — это максимальное напряжение испытываемого материалом до момента начала его разрушения.

Существует несколько видов предела прочности при:

- Сжатию - определяет способность материала сопротивляться внешним силам, направленным по оси образца друг к другу;
- Растяжению - определяет способность материала сопротивляться внешним силам, направленным по оси образца в противоположные стороны;
- Кручению – сопротивление материала на скручивание (важный показатель для деталей типа вал);
- Изгибе - влияет на гибкость деталей.

Для получения значений предела прочности используют испытания на стендах, в результате получается диаграмма, представленная на рисунке 17, на основе которой определяются основные характеристики материала.

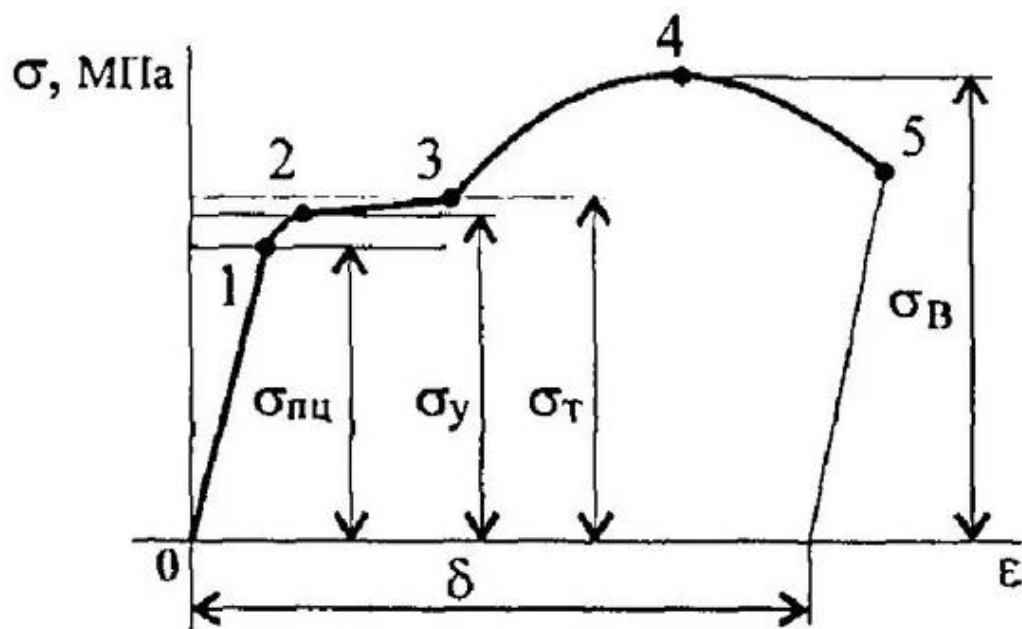


Рисунок 17 – Диаграмма напряжений при испытании на растяжение металлического стержня

На диаграмме видно, как с ростом напряжения на деталь изменяется показатель ее относительного удлинения. Отметим, что при достижении предела прочности, деталь начинает течь. Поэтому, второй показатель, на который следует обратить внимание, это предел текучести.

Предел текучести материала — это значение напряжения, при достижении которого, начинается пластическая деформация.

Предел текучести определяется на основе диаграммы, изображенной на рисунке 18, полученной после стендовых испытаниях на растяжение.

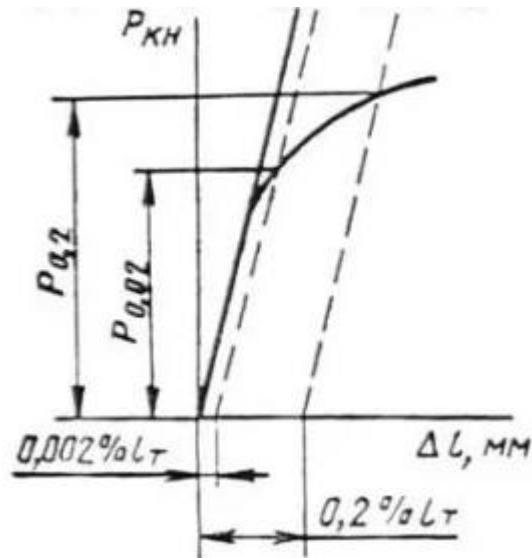


Рисунок 18- Диаграмма определения предела текучести

Определение предела текучести является важным показателем материала, так как при достижении этого предела, конструкция теряет свои прочностные характеристики, в результате чего это ведет к местному разрушению узла что можешь привести к аварийным ситуациям.

Помимо этого, на стадии проектирования и подборки материала, стоит учитывать температуру в процессе эксплуатации узла, так с повышением температуры предел текучести уменьшается.

Следующей важной характеристикой является твердость.

Твердость - способность одного тела сопротивляться проникновению в него другого.

Существует несколько методов определения твердости металла:

- метод Бринелла;
- метод Виккерса;
- метод Роквилла;
- метод Шора.

В машиностроении зачастую используют метод Бринелля

Данный метод относится к методам вдавливания. Испытание проводится следующим образом.

- образец устанавливается на стол твердометра к индентору;
- с плавной возрастающей нагрузкой вдавливают индентор в течение нескольких секунд;
- при максимальной нагрузке индентор удерживается в течение 10 секунд;
- после чего отводят индентор и измеряют отпечаток.

На рисунке 19 представлена схема измерения твердости металла методом Бринелля.

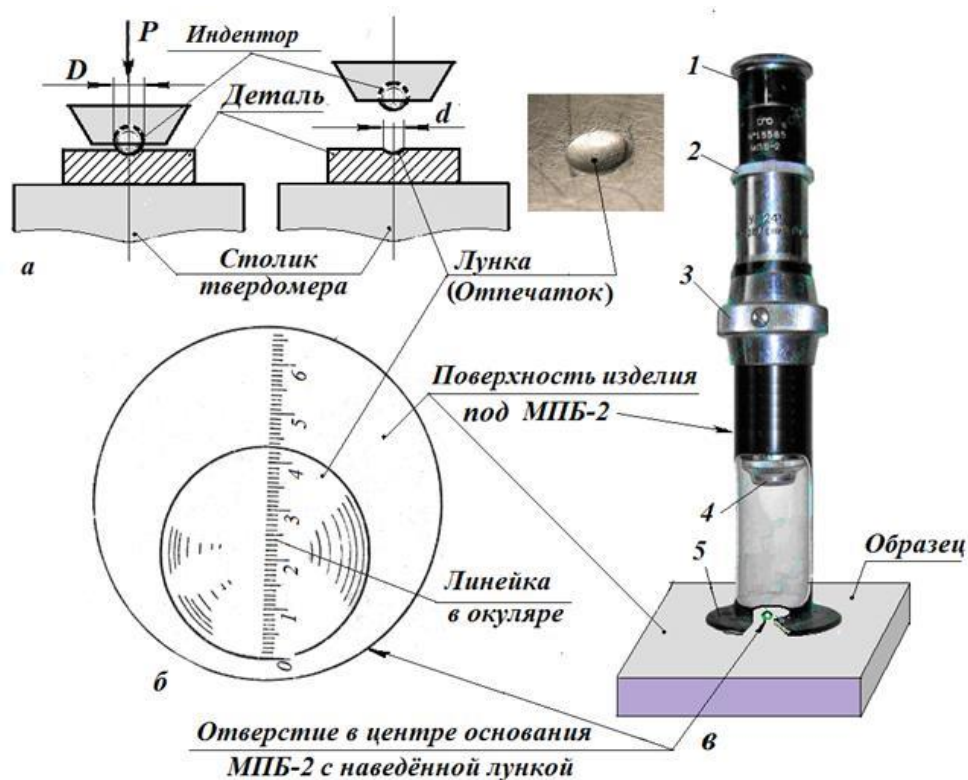


Рисунок 19– Схема измерения твердости металла методом Бринелля

В качестве инденторов используются сплавные шарики различного диаметра. Исходя из того какой материал требуется исследовать, подбираются нагрузки и размер шарика индентора.



На рисунке 20 представлено изображение конического индентора, на рисунке 21 – конического.



Рисунок 20 - Конический индентор



Рисунок 21 – Шариковые инденторы

Твёрдость по Бринеллю обозначается как НВ и может рассчитываться двумя методами:

- метод восстановленного отпечатка;
- метод невосстановленного отпечатка.

По методу восстановленного отпечатка твёрдость рассчитывается как отношение приложенной нагрузки к площади поверхности отпечатка (1):

$$HB = \frac{0,102F}{\frac{\pi D}{2}(D - \sqrt{D^2 - d^2})}, \quad (1)$$

где  $F$  – приложенная нагрузка;

$D$  – диаметр шарика, мм;

$d$  – диаметр отпечатка.

По методу невосстановленного отпечатка твёрдость определяется как отношение приложенной нагрузки к площади внедрённой в материал части индентора (2):

$$HB = \frac{0,102F}{\pi Dh}, \quad (2)$$

где  $h$  – глубина внедрения индентора;

Нормативными документами определены:

- размеры инденторов;
- длительность вдавливания;
- длительность под максимальной нагрузкой;
- минимальная толщина образца;
- минимальная и максимальная величины диагоналей отпечатка;
- максимальные нагрузки;
- группа исследуемого материала.

При определении твердости этим методом стальной шарик определенного диаметра  $D$  вдавливают в тестируемый образец под действием нагрузки  $P$ , приложенной перпендикулярно к поверхности образца, в течение определенного времени. После снятия нагрузки измеряют диаметр отпечатка  $d$ . Число твердости по Бринеллю

обозначается буквами НВ, и его определяют путем деления нагрузки  $P$  на площадь поверхности сферического отпечатка  $F$ .

Для удобства имеются таблицы чисел твердости по Бринеллю и зависимости от диаметра шарика  $D$ , диаметра отпечатка  $d$  и нагрузки  $P$ . На рисунке 22 схема измерения твердости.

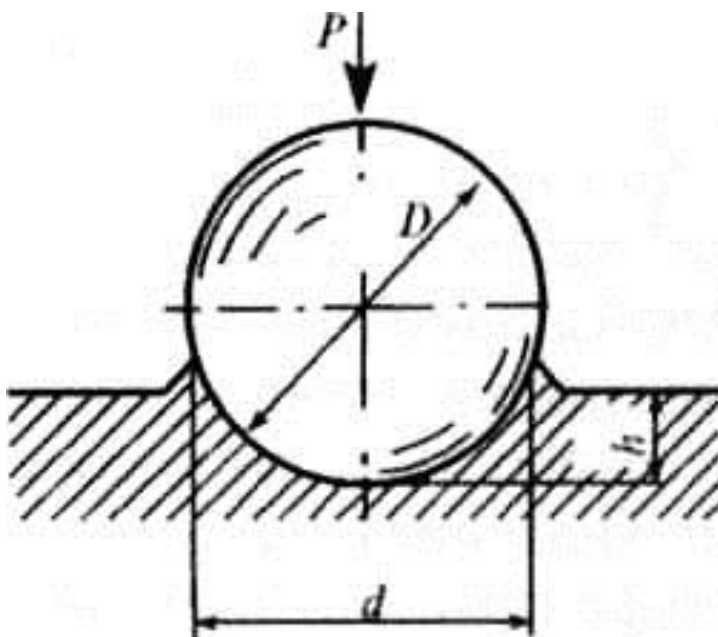


Рисунок 22 - Схема измерения твердости по Бринеллю

С целью повышения прочностных характеристик детали, проведена сравнительная характеристика химического состава сплавов, результаты которой сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Сравнение химического состава сплавов AlSi9Cu3 и АК12М2

	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Sn	Ti	Pb	Cr
--	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

FDN AlSi9Cu3	3.08	9.02	0.19	0.83	0.76	0.204	0.13	0.03	0.06	0.06	
Norme 0240110	2.7 4.0	8.0 11.6	0.05 0.55	<1.2	<1.3	<0.6	<0.55	<0.25	<0.25	<0.35	
AVTOVAZ AK12M2	2.06	11.6	0.25	0.34	0.79	0.17	0.085	0.01	0.03	0.03	
ГОСТ 1583- 93	1.8 2.5	11.0 13.0		<0.8	0.6 1.00	<0.50	<0.30	<0.10	<0.20	<0.15	

В качестве предложения по повышению качества картера сцепления был рассмотрен алюминиевый сплав AlSi9Cu3 (Fe) - один из наиболее часто используемых алюминиевых литейных сплавов, это связано с его хорошими механическими свойствами. Производство часто допускает отклонения максимальных уровней для некоторых легирующих элементов, в частности меди. Поскольку механические свойства конечных продуктов этих сплавов сильно зависят от концентрации меди в сплаве, в то время как химический состав контролировался с помощью оптического эмиссионного спектрометра, для измерения твердости по Бринеллю и проведения испытаний на растяжение. Кроме того, было проанализировано влияние меди на окислительную и коррозионную стойкость экспериментальных сплавов. Результат сведен в таблицу 4.

Таблица 4 – Сравнение характеристик сплавов AlSi9Cu3 и AK12M2

	Rm MPa	Rp0.2% MPa	A%	Dureté HB
FDN AlSi9Cu3(Fe)	264	156	3.9	104
Norme 0240110	200	130	1	> 80
AVTOVAZ AK12M2	172-231 moy: 200	133-143 Moy : 137	0.48-1.23 Moy : 0.80	93
GOST 1583-93	> 186		> 1.0	> 85

Проанализируем полученные значения. Алюминиевый сплав, в состав которого добавили 3% меди, показал лучшие результаты. При переходе от AK12M2 к AlSi9Cu3, мы получаем существенный прирост предела прочности  $R_m$ , который составил приблизительно 25%. Можно сделать вывод

что, рассматриваемая деталь (картер сцепления), будет лучше сопротивляться нагрузкам, возникающим при работе в составе автомобиля. Помимо этого, минимальное значение предела текучести увеличилось со 137 МПа до 156 МПа. Немаловажный показатель как твердость, возрос до 104 единиц по Бринеллю, а это прирост в 11%. На ряду с более высокими физико- механическими свойствами, материал AlSi9Cu3 имеет более высокую стойкость к коррозии.

### 3.2 Проектирование картера сцепления

На этапе проектирования картера сцепления закладываются основные технические характеристики и учитываются геометрические особенности детали. Конструкцию и размер корпусных деталей определяют расположенные внутри узлы и детали. На рисунке 23 изображена модель картера сцепления.

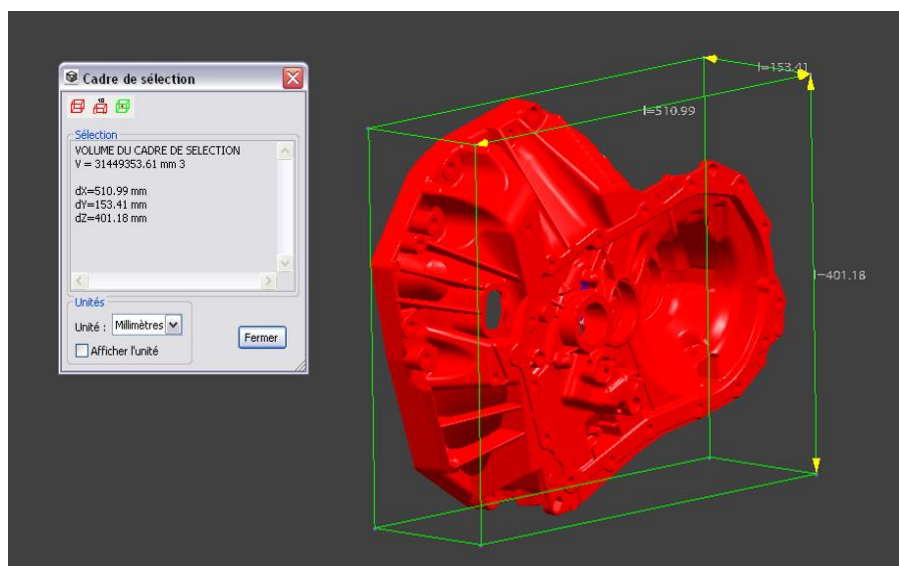


Рисунок 23 – Моделирование размеров разрабатываемого картера сцепления

Существуют несколько требований к корпусным деталям, одними из основных являются: жесткость (способность тела сопротивляться

деформациям), также деталь должна быть минимальной металлоемкости, данный показатель влияет не только на саму деталь, но и на такой показатель, как удельная мощность двигателя, которая обратно пропорциональна массе автомобиля. Помимо перечисленного деталь должна быть относительно простой геометрии, что в последствии влияет на изготовлении пресс-формы и качество отливки.

На этапе моделирования деталей существуют методы анализа конструкции и выявления допущенных в процессе проектирования ошибок. Данные методы позволяют смоделировать работу узла, приближенную к реальным условиям, учитывая свойства материала и характеристики детали, они позволяют определить зоны, подверженные деформации, а также определить в них нагрузки. На основе полученных данных, если требуются, вносятся корректировки конструкторской документации.

Погрешности конструкции и дефекты детали способен предупредить анализ NVH (Noise, Vibration, Harness), для которого достаточно лишь характеристики используемого материала и 3D модели проектируемой детали. На рисунке 24 представлена модель, по которой будет проводиться данный расчет.

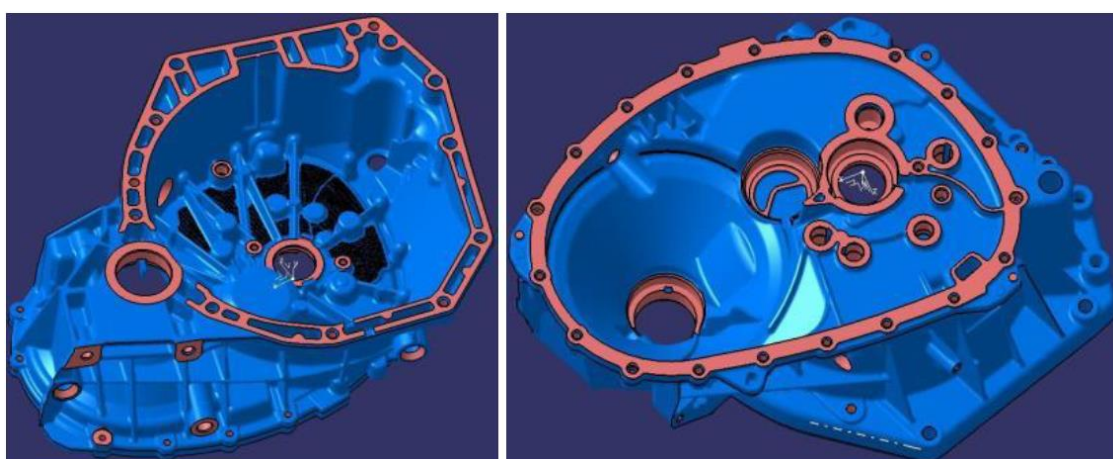


Рисунок 24 – 3D модель картера сцепления

Следующим этапом после анализа характеристик материала необходимо произвести расчет конструкции на прочность. На данном этапе

будет проводиться оценка напряженно-деформированного состояния. Для созданной 3D модели картера сцепления необходимо задать параметры и характеристики предложенного сплава  $AlSi9Cu3$  и сравнить показатели внутренних напряжений и зон, наиболее подверженных деформации. вследствие чего появится возможность определить наиболее качественный сплав. Расчет производится на нескольких режимах работы коробки передач с двигателем, максимальный крутящий момент которого  $M_e=200$  Нм:

- Движение под нагрузкой (повышенная передача, крутящий момент- 200 Нм);
- Холостой ход (повышенная передача, крутящий момент- 200 Нм);
- Движение под нагрузкой (повышенная передача, крутящий момент- 133 Нм);
- Реверсивное движение (повышенная передача, крутящий момент- 200 Нм);

Дефекты конструкции детали, работающих в условиях циклических или постоянных нагрузок появляются на поверхности в местах концентрации напряжений, например в отверстиях. На рисунках 25-28 продемонстрированы общие виды NVH расчета на прочность для разных режимов работы.

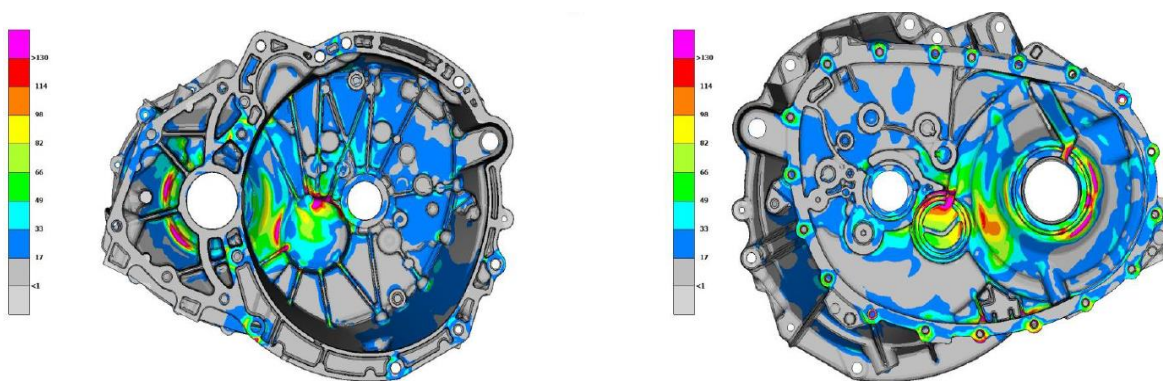


Рисунок 25 –Нагруженное состояние при 200Нм

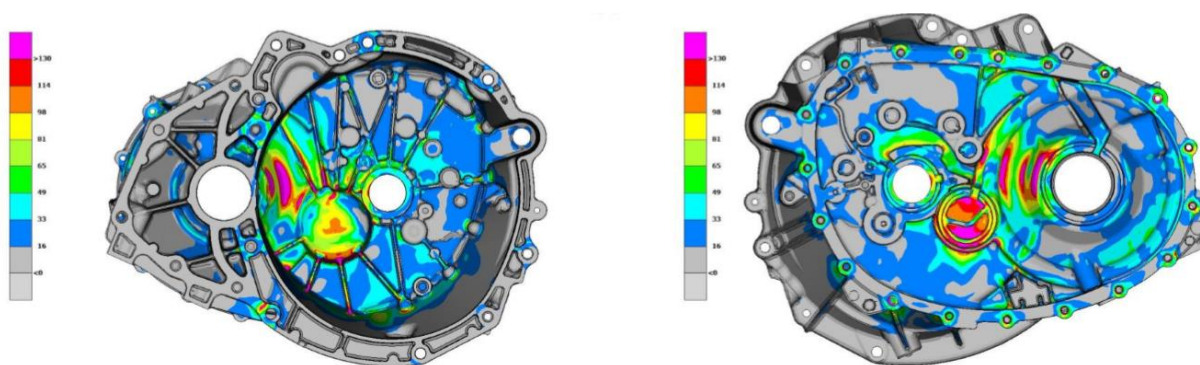


Рисунок 26 – Холостой ход при 200Нм

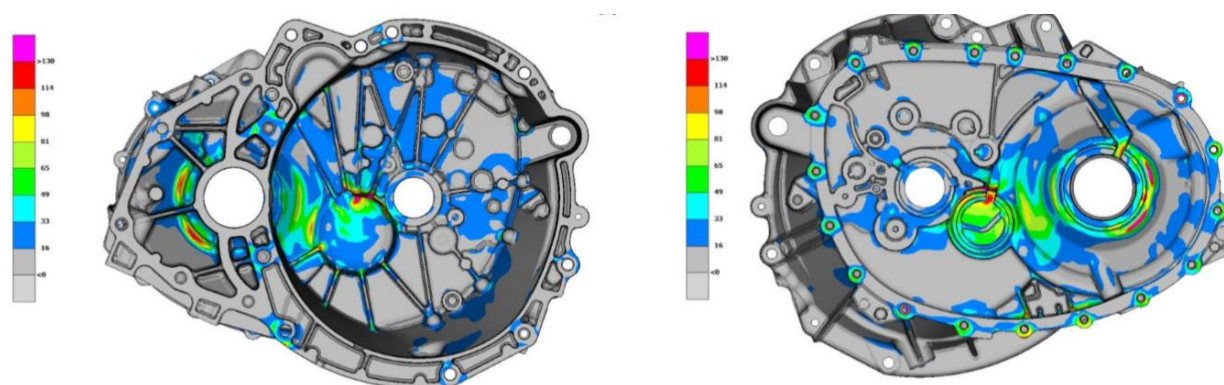


Рисунок 27 – Нагруженное состояние при 133Нм

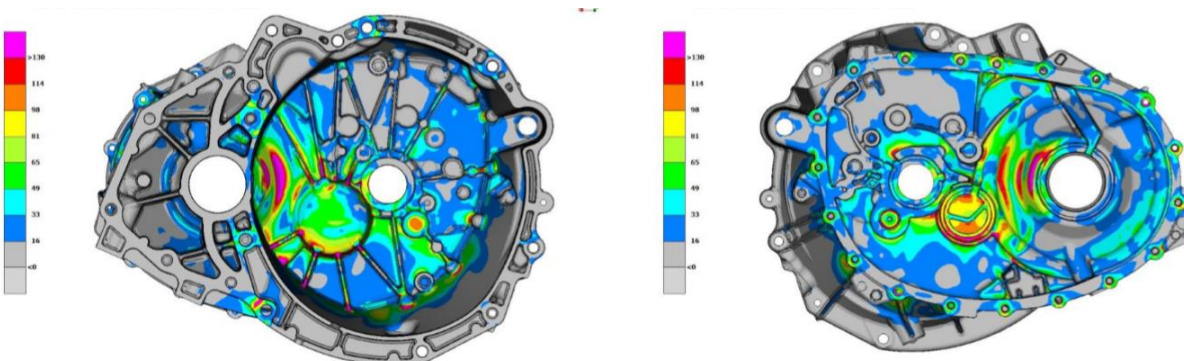


Рисунок 28 – Реверсивное движение при 200Нм

Для того чтобы проанализировать расчет на прочность, требуется сравнить полученные значения нагрузок в концентраторах, с требованиями, предоставленными к картеру сцепления.



В таблице 5 приведены требования к значениям предельных напряжений в концентраторах напряжений картера сцепления

Таблица 5 - Критерии предельных напряжений для материалов АК12М2 и AlSi9Cu3

Зона	Критерии для АК12М2	Критерии для AlSi9Cu3
Необработанная поверхность	<132 МПа	<167 МПа
Обработанная поверхность	<88 МПа	<112 МПа

Как было ранее сказано, расчет на прочность произведен при разных режимах работы картера. Результаты расчета рассмотрим последовательно для каждого из них, разделив картер сцепления на отдельные sub-модели. На рисунке 29 представлена sub -модель P22.



Рисунок 29 – Sub- модель P22

Рассмотрим внутреннюю и внешнюю часть данной модели и определим наибольшие напряжения. На рисунке 30–31 показаны результаты

расчетов при нагруженном состоянии картера сцепления при крутящем моменте равным 200 Нм, в точках с необработанной поверхностью.

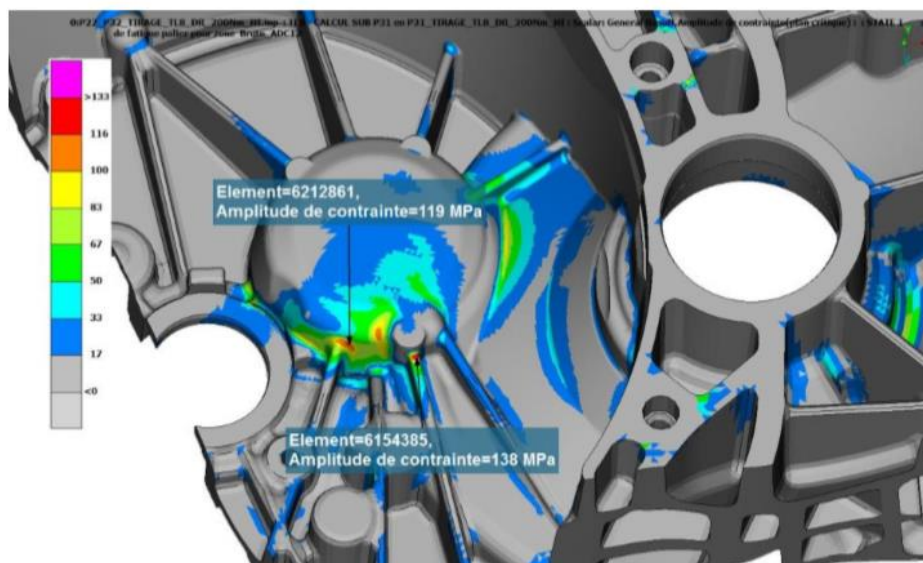


Рисунок 30 – Расчет на прочность sub-модели P22

Видно, что деталь имеет две точки с наибольшими напряжениями  $R_m=119\text{МПа}$  (элемент 6212861) и  $R_m=138\text{МПа}$  (элемент 6154385). Сравнив эти данные с критериями для материала, можно сказать, что АК12М2 не обладает достаточной прочностью для обеспечения безотказной работы картера сцепления, однако  $\text{AlSi9Cu3}$  не только удовлетворяет требованиям конструкции, но и имеет запас прочности. В дальнейшем все результаты сведем в таблицу и оценим какой материал является наиболее подходящим для данной конструкции.

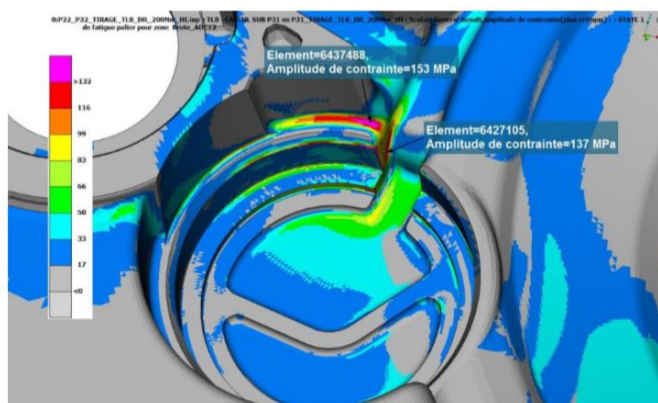


Рисунок 31– Расчет на прочность sub-модели P22

На рисунке 32 представлены напряжения на обработанных поверхностях.

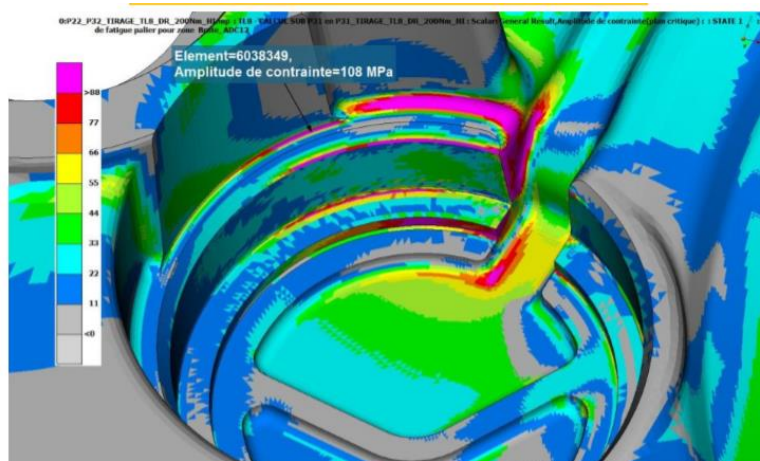


Рисунок 32 – Расчет на прочность sub-модели P22

На рисунках 33-34 показаны напряжения на режиме холостого хода и крутящем моменте 200 Нм.

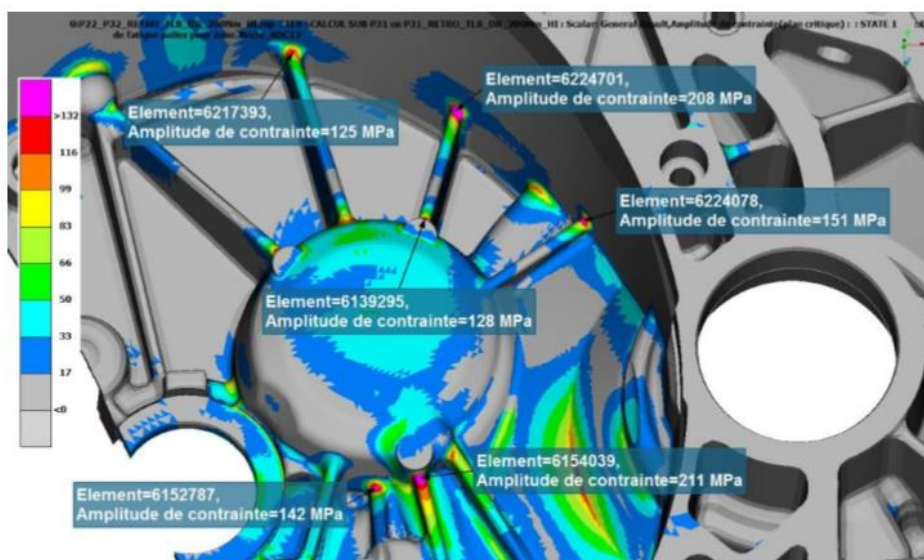


Рисунок 33 – Расчет на прочность sub-модели P22 (необработанная поверхность)

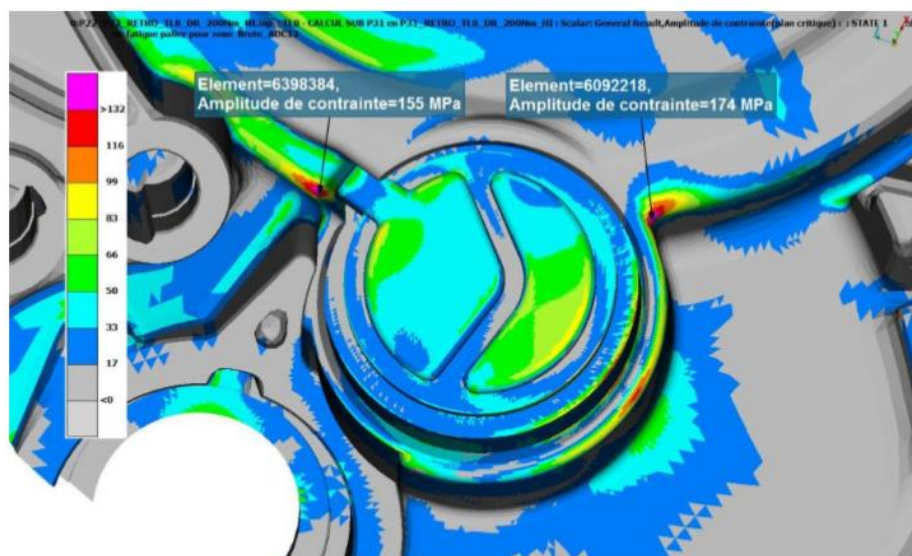


Рисунок 34 – Расчет на прочность sub-модели P22 (необработанная поверхность)

На рисунках 35-36 показаны напряжения на нагруженном режиме работы при крутящем моменте 133 Нм.

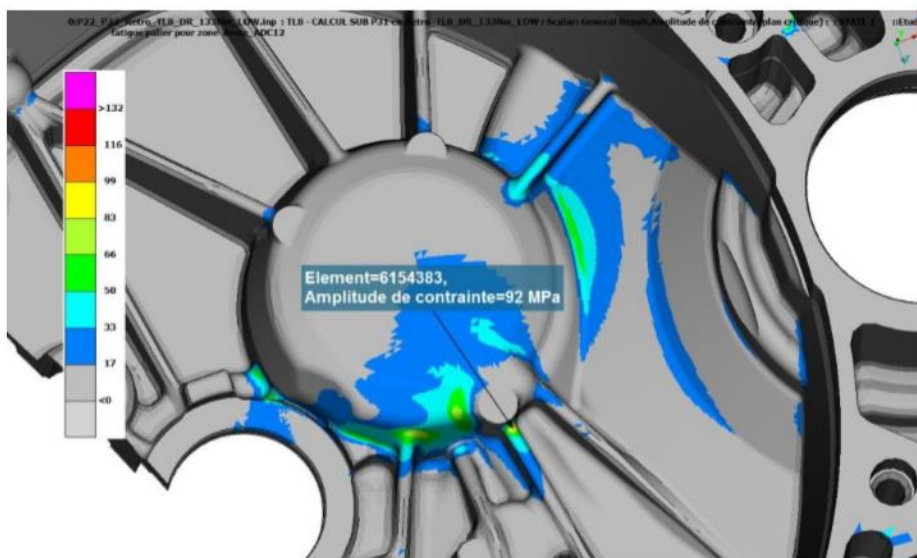


Рисунок 35 – Расчет на прочность sub-модели P22 (необработанная поверхность)

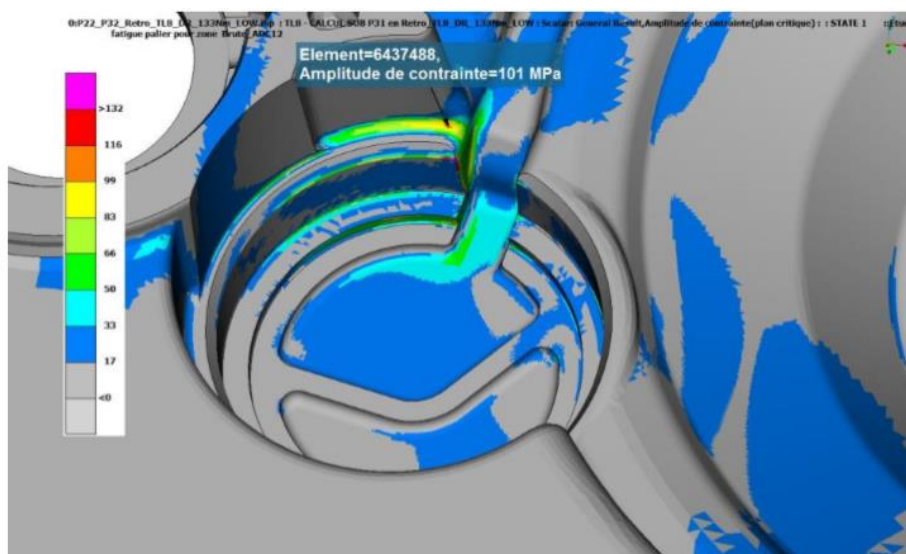


Рисунок 36 – Расчет на прочность sub-модели P22 (необработанная поверхность)

На рисунках 37-38 показаны напряжения на реверсивном режиме работы при крутящем моменте 200 Нм.

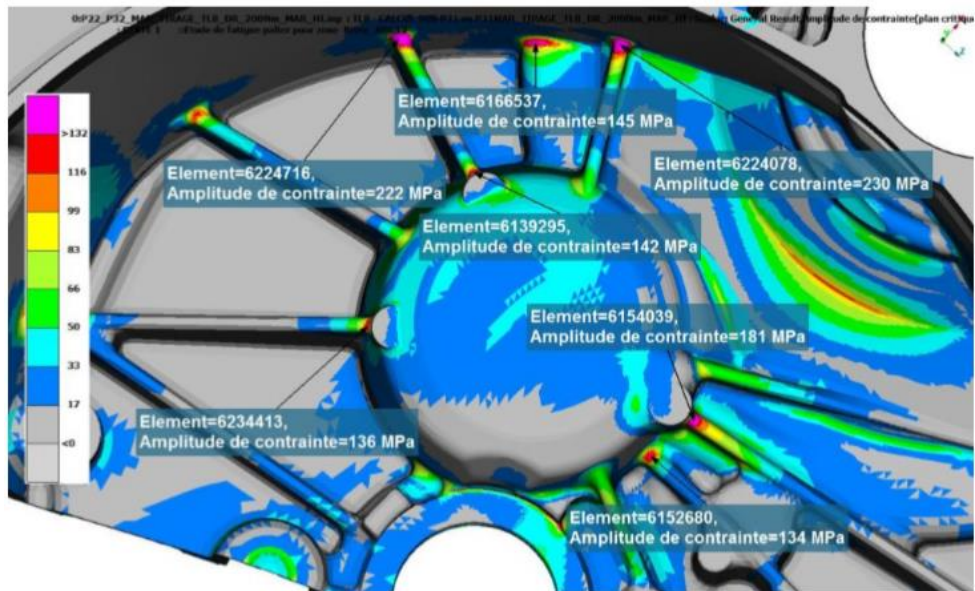


Рисунок 37 – Расчет на прочность sub-модели P22 (необработанная поверхность)

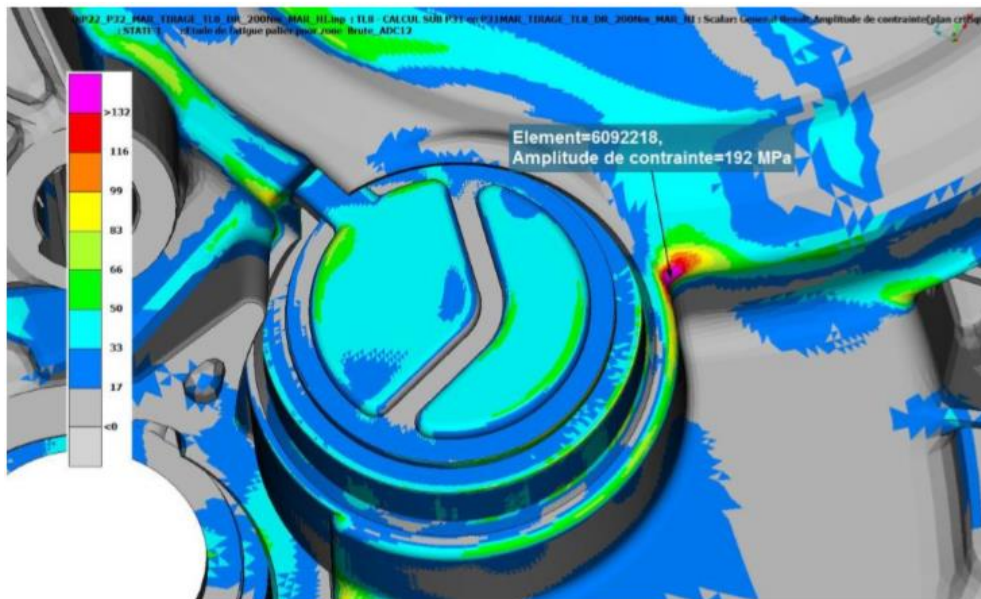


Рисунок 38 – Расчет на прочность sub-модели P22 (необработанная поверхность)

Рассмотрим напряжения возникающие на второй модели. На рисунке 39 изображена sub-модель P32.



Рисунок 39- Sub-модель P32

На рисунках 40–41 представлены результаты расчетов при нагруженном состоянии картера сцепления при крутящем моменте равным 200 Нм, в точках с необработанной поверхностью.

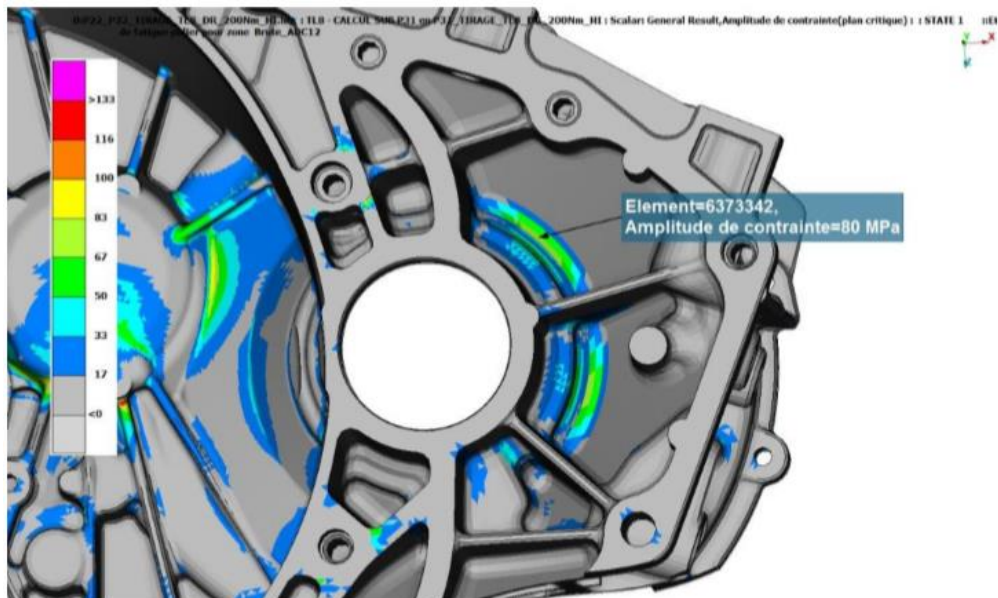


Рисунок 40 – Расчет на прочность sub-модели P32 (необработанная поверхность)

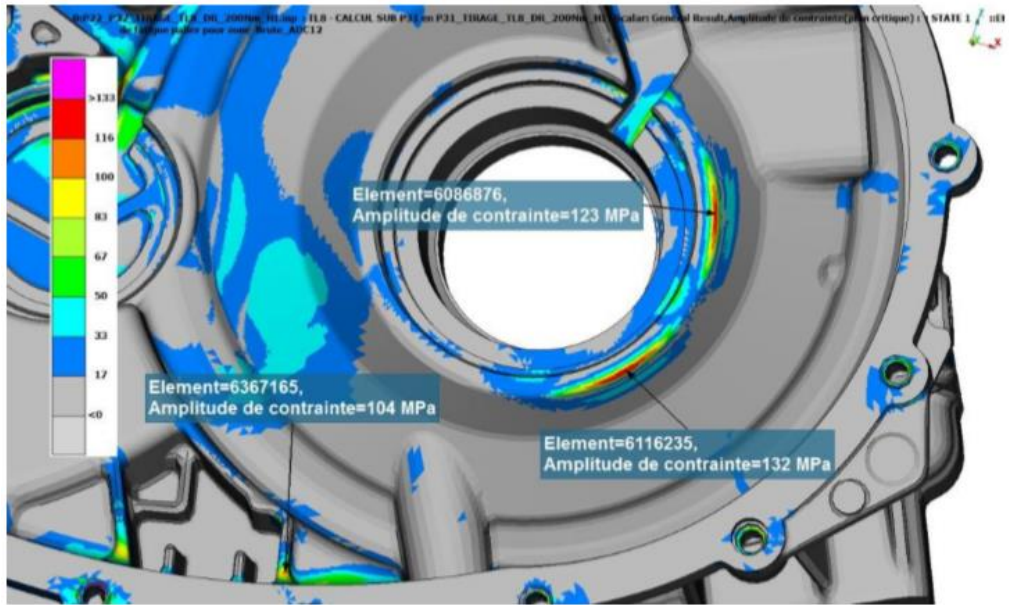


Рисунок 41 – Расчет на прочность sub-модели P22 (необработанная поверхность)

На рисунках 42-43 показаны напряжения на режиме холостого хода и крутящем моменте 200 Нм.

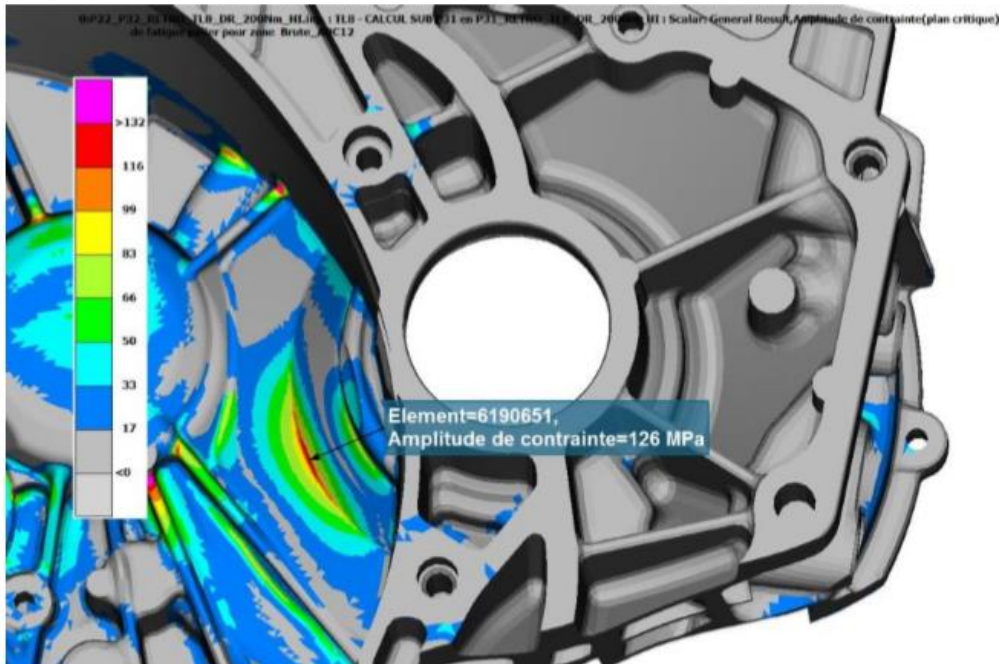




Рисунок 42 – Расчет на прочность sub-модели P22 (необработанная поверхность)

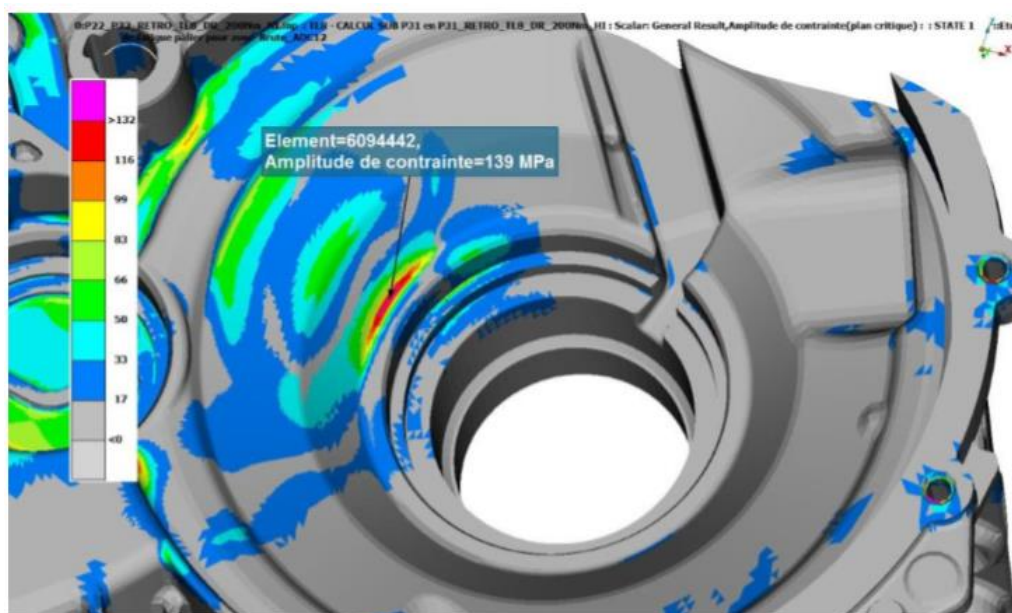


Рисунок 43 – Расчет на прочность sub-модели P22 (необработанная поверхность)

На рисунках 44–45 представлены результаты расчетов на нагруженном режиме работы при крутящем моменте 133 Нм.

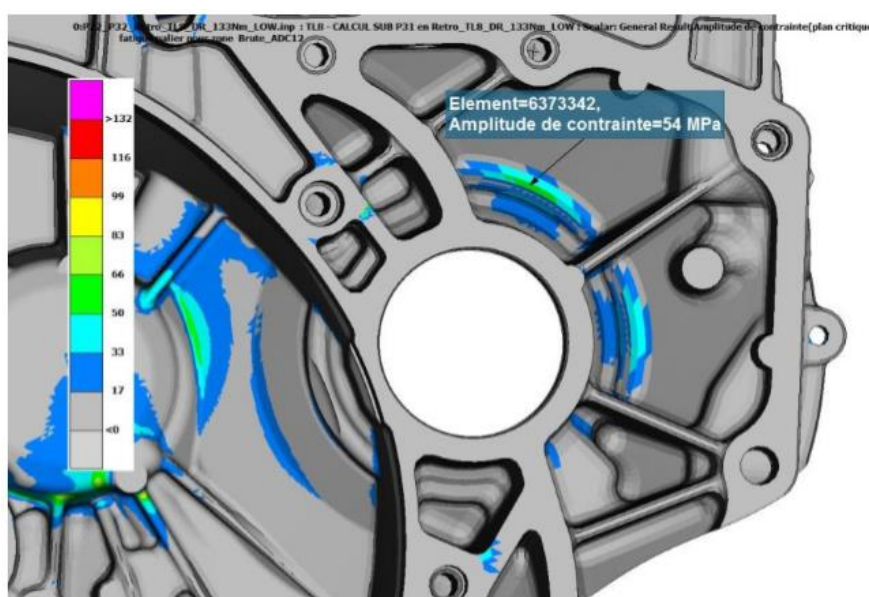


Рисунок 44 – Расчет на прочность sub-модели P22 (необработанная поверхность)

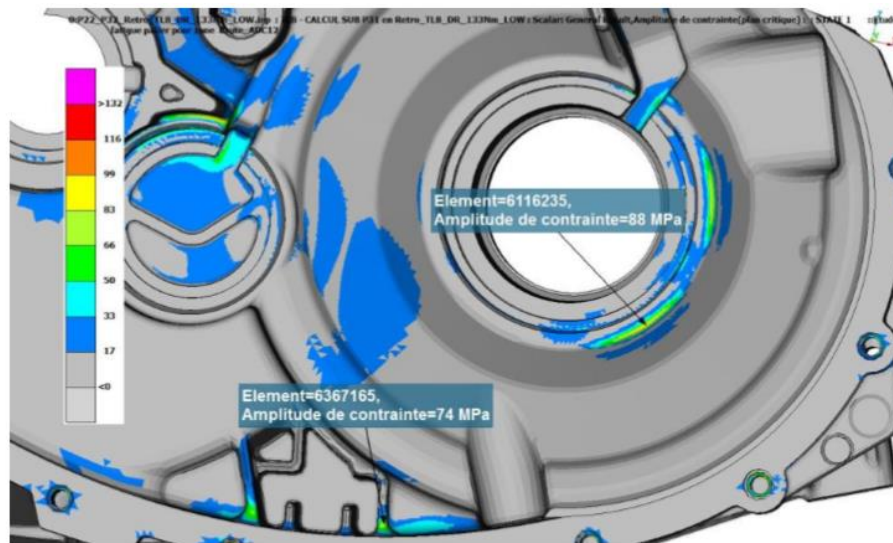


Рисунок 45– Расчет на прочность sub-модели P22 (необработанная поверхность)

На рисунках 46-47 показаны напряжения на режиме реверсного движения и крутящем моменте 200 Нм.



Рисунок 46 – Расчет на прочность sub-модели P22 (необработанная поверхность)

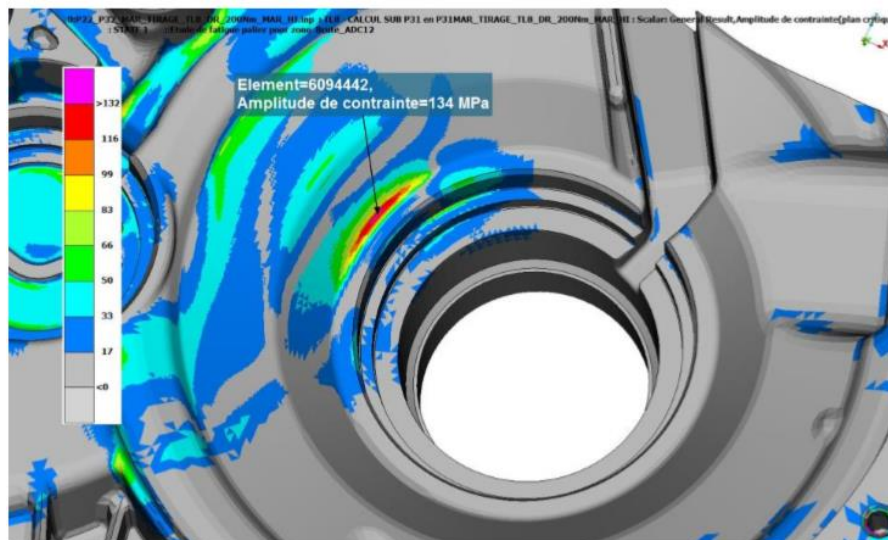


Рисунок 47 – Расчет на прочность sub-модели P22 (необработанная поверхность)

Рассмотрим напряжения возникающие на третьей модели. На рисунке 48 изображена sub-модель P12.



Рисунок 48 – Расчет на прочность sub-модели P12 (необработанная поверхность)

На рисунках 49–50 представлены результаты расчетов при нагруженном состоянии картера сцепления при крутящем моменте равным 200 Нм.

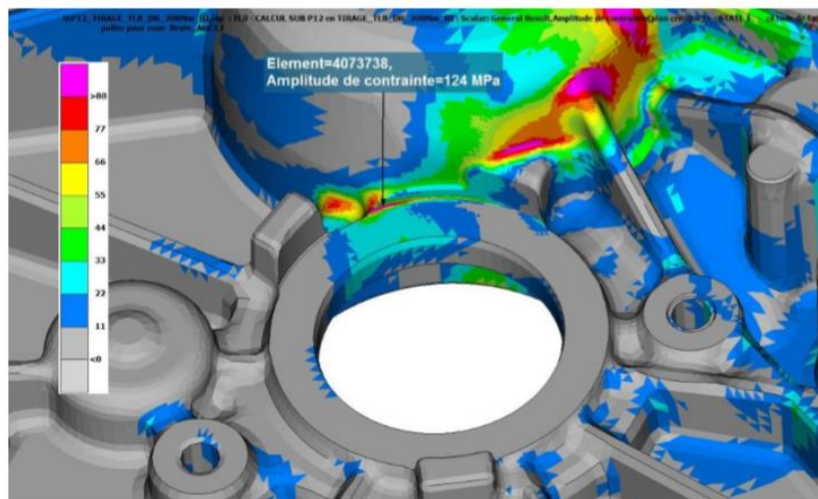


Рисунок 49 – Расчет на прочность sub-модели P12 (обработанная поверхность)

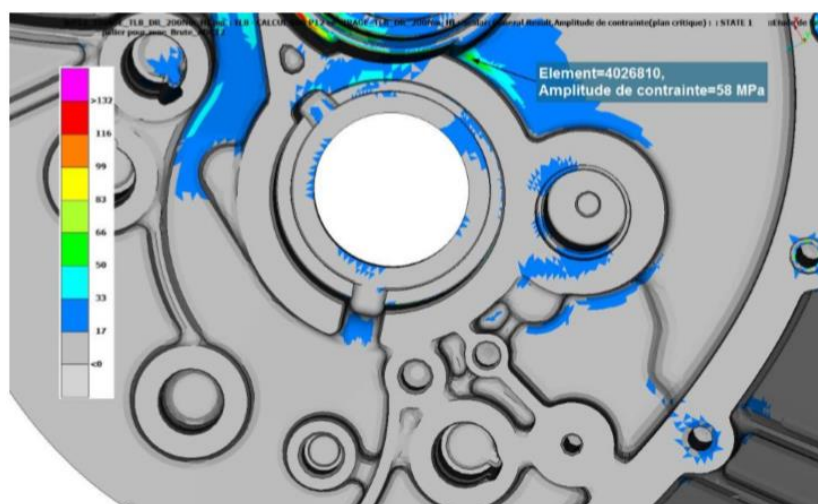


Рисунок 50 – Расчет на прочность sub-модели P12 (необработанная поверхность)

На рисунках 51-52 показанны напряжения на режиме холостого хода при крутящем моменте 200 Нм.

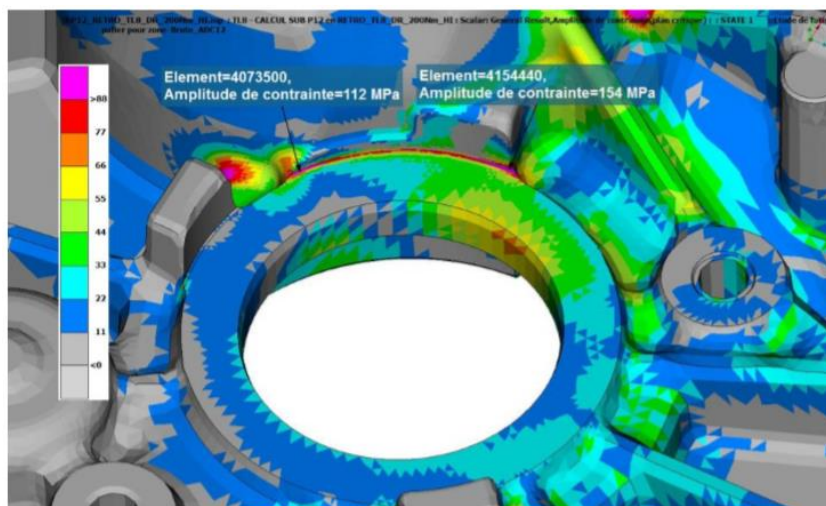


Рисунок 51 – Расчет на прочность sub-модели P12 (обработанная поверхность)

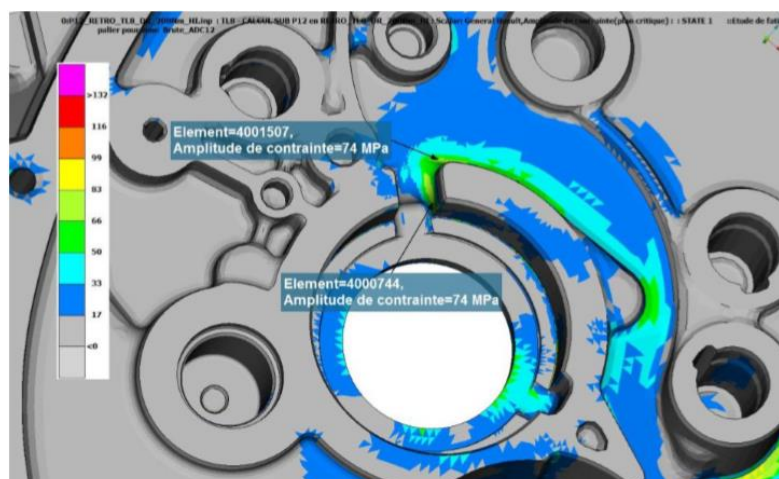


Рисунок 52 – Расчет на прочность sub-модели P12 (необработанная поверхность)

На рисунках 53–54 представлены результаты расчетов при нагруженном состоянии картера сцепления при крутящем моменте равным 133 Нм,

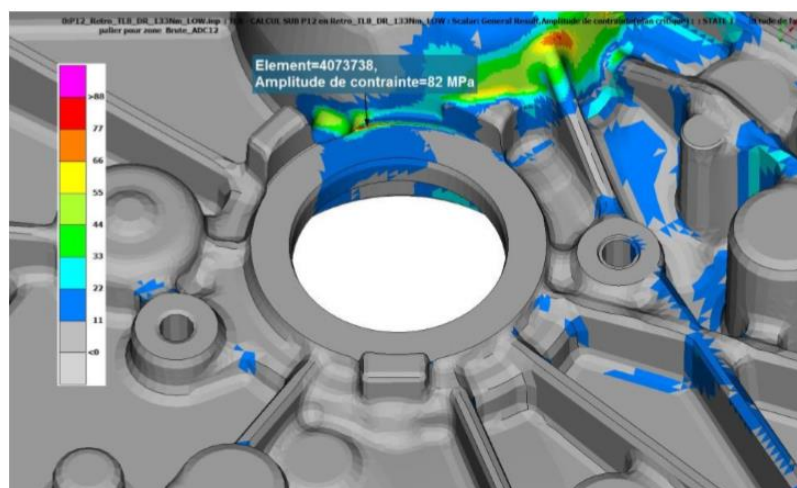


Рисунок 53 – Расчет на прочность sub-модели P12 (обработанная поверхность)

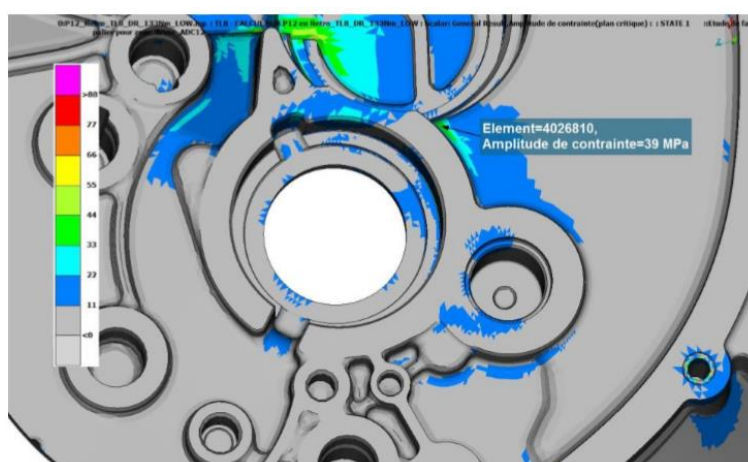


Рисунок 54 – Расчет на прочность sub-модели P12 (необработанная поверхность)

На рисунках 55-56 показаны напряжения на режиме реверсногдвижения и крутящем моменте 200 Нм

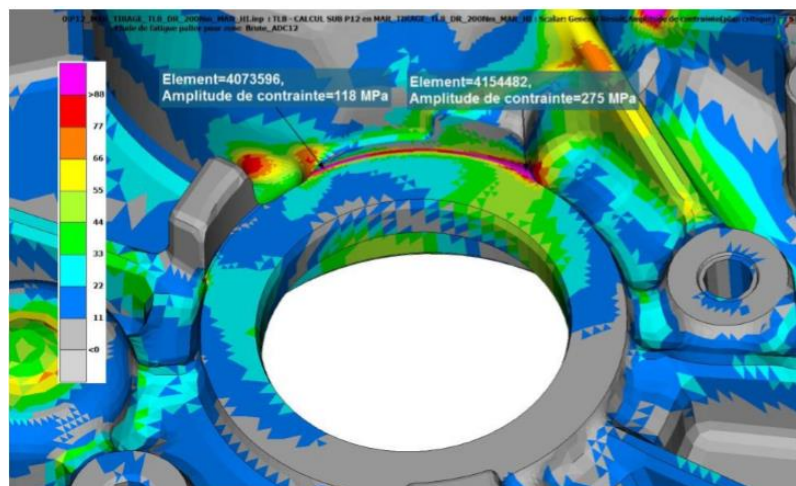


Рисунок 55 – Расчет на прочность sub-модели P12 (обработанная поверхность)

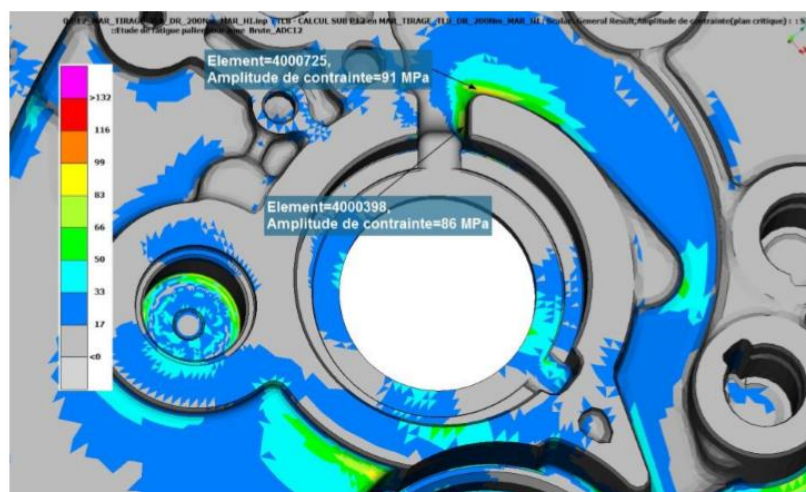


Рисунок 56 – Расчет на прочность sub-модели P12 (необработанная поверхность)

В ходе расчета на прочность мы определили участки детали, которые подвержены наибольшему напряжению. Для анализа материала сведём данные в таблицу 6 для АК12М2 и таблицу 7 для AlSi9Cu3.

Таблица 6 – Соответствие механических свойств материала АК12М2 предъявляемым требованиям

АК12М2	Под нагрузкой $M_e=200$ Нм			Холостой ход $M_e=200$ Нм			Пониженная передача $M_e=133$ Нм			Реверсивное движение $M_e=200$ Нм		
	Не обр.пв.	Обр.пв.	Рисунок	Не обр.пв.	Обр.пв.	Рисунок	Не обр.пв.	Обр.пв.	Рисунок	Не обр.пв.	Обр.пв.	Рисунок
SUB_P22	153	108	30,31	211	-	32		-		230	-	36
SUB_P32		-		139	-	42		-		134	-	46
SUB_P12		124	48		154	50					275	54

Таблица 7 - Соответствие механических свойств материала AlSi9Cu3 предъявляемым требованиям

AlSi9Cu3	Под нагрузкой $M_e=200$ Нм			Холостой ход $M_e=200$ Нм			Пониженная передача $M_e=133$ Нм			Реверсивное движение $M_e=200$ Нм		
	Не обр.пв.	Обр.пв.	Рисунок	Не обр.пв.	Обр.пв.	Рисунок	Не обр.пв.	Обр.пв.	Рисунок	Не обр.пв.	Обр.пв.	Рисунок
SUB_P22				211	-	32		-		230	-	36
SUB_P32		-			-			-			-	
SUB_P12		124	48		154	50					275	54

В результате расчета были выявлены зоны с наибольшей концентрацией напряжений. Из сравнения полученных показателей напряжений для двух материалов наблюдаем, что зон с показателями нагрузок, превышающих предел прочности, больше в детали из сплава АК12М2.

Из этого следует, что доработка конструкции для картера из сплава АК12М2 потребует увеличения толщины стенок детали и добавления дополнительных ребер жесткости, что повлечет за собой большую материалоемкость.



#### **4 Анализ технологического процесса изготовления картера сцепления**

Технологический процесс — это совокупность выстроенных в определенном порядке операций. Он направлен на превращение сырья и заготовок в конечные изделия.

Для анализа техпроцесса следует рассмотреть его поэтапно, то есть выделить основные этапы производства влияющие на качество изготовления картера сцепления коробки передач.

Основными этапами для анализа выделим следующие факторы влияния:

- процесс литья картера сцепления;
- процесс изготовления и обработки пресс-формы для литья под давлением;
- механическая обработка картера сцепления.

Так же следует отметить, что для контроля качества картера сцепления коробки передач существуют методы дефектоскопии, а также проверки на герметичность.

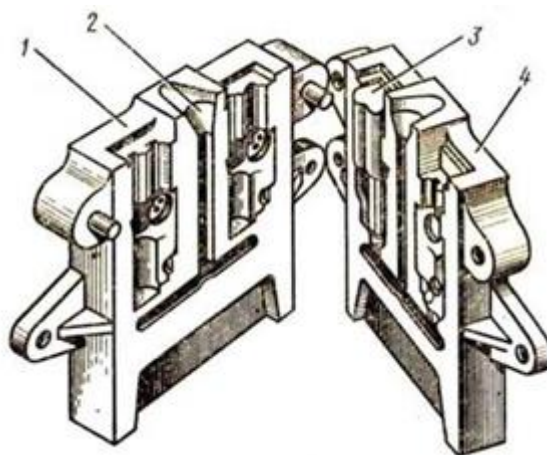
Рассмотрим процесс литья. Литье предполагает расплавление сплава до жидкого состояния, с последующим заполнением им формы. Стоит отметить, что именно на этапе создания расплава создается сплав с нужным содержанием легирующих элементов. Существует множество методов изготовления детали литьем, такие как:

- литье в одноразовые песчаные формы;
- литье в оболочковые формы;
- литье в постоянные металлические формы;
- кокильное литье;
- литье под давлением;
- литье по удаляемым моделям;
- литье по выплавляемым моделям.

Каждый из данных методов литья имеет свои преимущества и недостатки. Если рассматривать картер сцепления коробки передач, стоит учитывать, что после этапа проектирования, деталь начинает изготавливаться крупносерийно, поэтому требуется такой вид литья, который способен обеспечивать максимальную производительность, а также необходимое качество изготовленной детали, с наименьшими затратами.

Поэтому для крупносерийной детали, такой как картер сцепления, применяется процесс литья в кокиль и литье под давлением.

Рассмотрим литье в кокиль. Кокиль представляет из себя многооборотную литевную металлическую форму. В кокиль металл заливают самотеком, однако изначально кокиль разогревают до 150-180 градусов. В отличие от литья под давлением погрешность получаемых геометрических параметров составляет около 4%, а также шероховатость поверхности составляет от 1,25 до 2,5 мкм по среднему арифметическому отклонению. На рисунке 57 представлена двухместный кокиль с вертикальным разъемом.



1,4 - половины кокиля; 2 - ворошка; 3 – стержень.

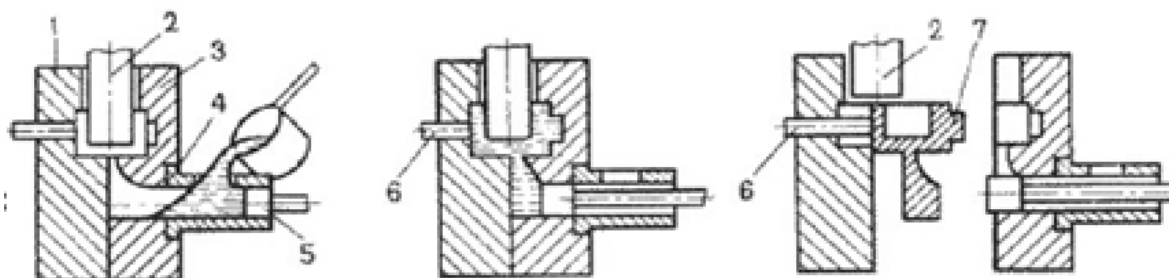
Рисунок 57 – Кокиль двухместный с вертикальным разъемом

Литье под давлением предполагает собой заполнение пресс-формы с помощью пресс-поршня под давлением 3-5 МПа. Данный метод способен обеспечить высокую производительность (до 1000 шт/ч), при этом качество деталей остается на высоком уровне. При использовании литья под давлением погрешность геометрических размеров составляет около 1%. Так же стоит отметить, что полученные детали имеют небольшую шероховатость, которая колеблется от 0,63 до 1,25 мкм, по среднему арифметическому отклонению профиля. Это соответствует 1-4 классу точности согласно ГОСТ 26645-85. Следовательно дальнейшая механическая обработка не требуется, либо в небольшом объеме, в зависимости от требований к поверхности.

Существует два типа схема литья под давлением:

- Литье под давлением с холодной камерой прессования;
- Литье под давлением с горячей камерой прессования.

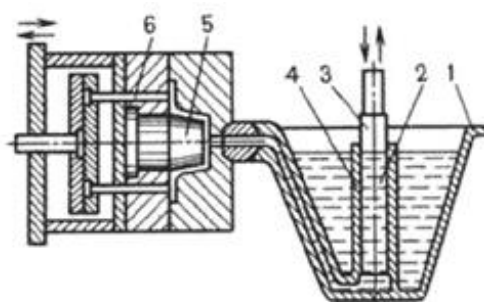
При литье под давлением с холодной камерой прессования, после подготовки к очередному циклу, подается небольшое количество расплава, после чего под действием пресс-поршня, по каналам литниковой системы поступает оставшийся расплав, который заполняет пресс форму. После охлаждения и затвердевания отливки вынимаются стержни и происходит раскрытие пресс формы. На рисунке 58 представлен принцип работы схемы литья под давлением с холодной камерой прессования:



1 - подвижная полуформа; 2 - стержень; 3 - неподвижная полуплатформа; 4 - камера прессования; 5 – плунжер; 6 – выталкиватель; 7 - отливка.

Рисунок 58 – Принцип работы схемы литья под давлением для машины с холодной камерой прессования

Особенностями тех процесса литья на машинах с горячей камерой прессования заключается в том что камера прессования расположена в тигле . Между ними имеется связь с помощью заливочных отверстий, через которые расплав самотеком поступает в камеру прессования. После того как пресс-поршень перекрывает отверстие, расплав по подогретому канал поступает в рабочую пресс форму. Цикл завершается после того, как пресс поршень возвращается в начальное положение. На рисунке 59 представлен схемы литья под давлением с горячей камерой прессования.



- 1 – обогреваемый тигель с металлом; 2 – камера прессования; 3 – плунжер;  
4 – отверстие для металла; 5 – литейная пресс- форма; 6- выталкиватель.

Рисунок 59 – Литье под давлением машины с горячей камерой прессования

Литье деталей под давлением имеет ряд преимуществ, за счет того, что пресс поршень движется с достаточно большой скоростью, пузырьки воздуха, находящиеся в металле, выходят, тем самым снижая вероятность образования пористости. Помимо этого, он не дает сплаву изменить заранее заготовленную форму, исключая при этом такой дефект, как усадка.

С точки зрения производительности данного метода, можно выделить тот факт, что, данный метод, в промышленных масштабах, полностью

автоматизирован, соответственно количество отливок, изготавливаемых в единицу времени, будет существенно выше, чем на полуавтоматизированном производстве. Помимо этого, как было ранее сказано, это исключает влияния человеческого фактора, что повышает качество изготавливаемой детали.

Качество изготавливаемой детали после отливки определяется следующими показателями:

- Точность размеров;
- Шероховатость поверхности;
- Плотность;
- Герметичность;
- Механические свойства.

Данные показатели определяются следующими особенностями формирования детали:

- Кратковременность заполнения пресс формы;
- Газопроницаемость материала пресс формы;
- Высокая интенсивность теплового взаимодействия (расплав - пресс-форма);
- Точность изготовленной пресс формы.

На рисунке 60 представлена модель пресс формы для картера сцепления коробки передач.

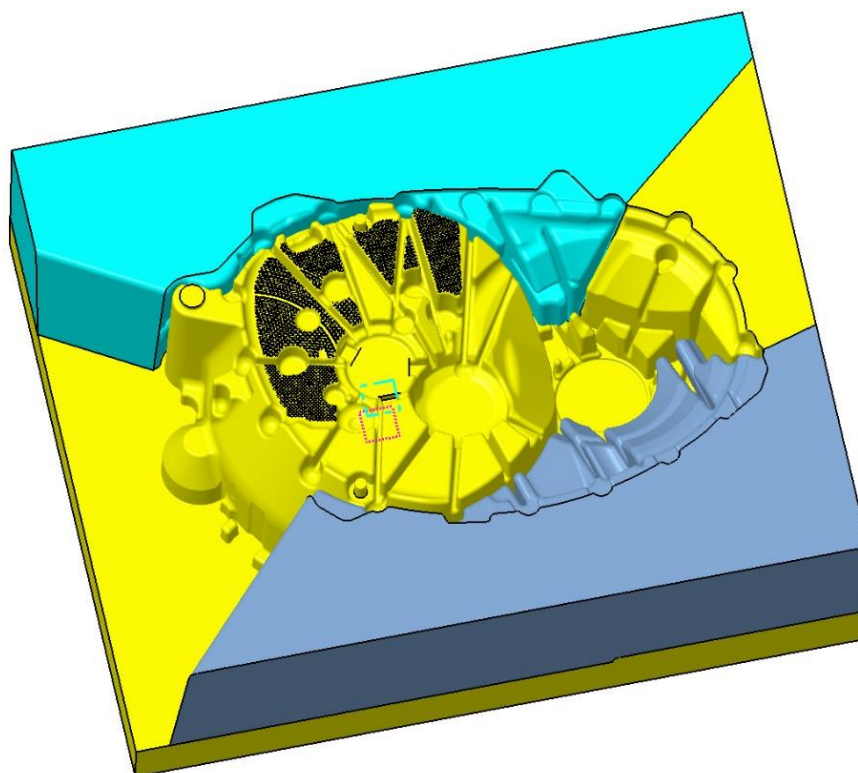


Рисунок 60 - 3D модель литейной пресс-формы картера сцепления

Исходя из данных факторов влияния требуется рассмотреть вопрос об изготовлении пресс формы. И проанализировать возможные мероприятия по улучшению их качества.

В большинстве случаев затраты на пресс-формы могут составлять 10-20% от затрат на каждую деталь, поэтому, все, что может послужить продлению срока службы пресс-формы, сокращает затраты на производство каждой отдельной единицы изделия.

Существуют различные переменные факторы, влияющие на производство пресс-форм для литья. Технические исследования, проведенные за последние годы, направлены на определение ключевых факторов, способных увеличить срок службы пресс-форм. Определены следующие основные области:

- Состав и обработка стальных пресс-форм.
- Процесс производства пресс-форм.

- Технологии литейного производства.
- Способы техобслуживания пресс-форм.

Состав и обработка стальных пресс-форм были рассчитаны и описаны в Издательстве NADCA №229, «Сталь особого качества для пресс-форм и критерии приемки термообработки». В данной публикации определяется точный состав, термообработка, степень закалки и отвердевания для пресс-форм для литья. Соблюдение данного процесса обеспечивает способность стали достичь желаемого срока службы пресс-форм. Небогатая практика в проектировании пресс-форм, литейном производстве или ремонте пресс-форм могут сократить срок службы, который уже был достигнут, но при этом без соответствующего состава стали и обработки срок службы пресс-форм будет все еще более низким.

Процесс производства пресс-формы также может оказать влияние на срок службы пресс-форм. Электроэрозионная обработка может повредить поверхность пресс-формы и сократить ее срок службы, если не будут предприняты специальные предупредительные меры, и пресс-форма не будет обрабатываться соответствующим образом после процесса электроэрозионной обработки. Сварка также может стать процессом, наносящим вред пресс-форме. Тщательная финальная полировка поверхности пресс-форм была признана продлевающей срок службы пресс-формы.

Как показала практика литейного производства, срок службы пресс-форм сокращается. Впрыск расплавленного металла в пресс-форму при комнатной температуре разрушает поверхность пресс-формы, поэтому рекомендуется предварительное нагревание поверхности пресс-формы до температуры 150°C-315°C. При этом проведение предварительного нагревания и охлаждения пресс-форм горячим маслом положительно влияет на увеличение срока службы. Чрезмерное употребление спрея для пресс-форм для охлаждения ее поверхности также пагубно воздействует на срок службы. Охлаждение пресс-форм должно осуществляться насколько это

возможно кривой внутреннего охлаждения, чтобы свести минимуму охлаждение поверхности во время операций. Постоянная потребность в увеличении производства путем сокращения цикла литья может привести к сокращения срока службы пресс-формы, если термальные характеристики процесса не учитываются.

Способы ремонта пресс-форм играют важную роль в формировании срока службы. Пресс-формы считают расходной оснасткой в производстве, и иногда незначительные попытки продлить срок службы являются затратными и требуют большой объем инвестиций. Способы техобслуживания, которые могут увеличить срок службы пресс-форм для литья, включают различные виды обработки и методы по сокращению концентрации напряжения на поверхности пресс-формы. В применяемую обработку поверхности входит покрытие оксидной пленкой, газовое азотирование, азотирование в соляной ванне и ионное азотирование. В зависимости от химического состава стали ее различные классы обладают различными свойствами азотирования. Методы, применяемые для сокращения концентрации напряжения на поверхности пресс-формы, включают отпуск термического напряжения и дробеструйную обработку.

Сокращение напряжения на поверхности пресс-формы для литья может увеличить срок службы, однако подобный опыт не является новинкой после применения состава стали низкого качества и обработки, неэффективных способов производства пресс-форм или технологических режимов. Сокращение напряжения поверхности пресс-форм является другим методом, которое может использовать рабочий, обслуживающий машину, чтобы увеличить срок службы пресс-форм и в дальнейшем сократить затраты на литье пресс-форм.

В литейной промышленности применяется конструктивно сложная стальная пресс-форма. В промышленности постоянно проводятся исследования с целью нахождения способов продления срока службы пресс-форм до их замены. За последние годы промышленность инвестировала в



исследования, проведенные для выявления ключевых факторов в увеличении срока службы пресс-форм для литья.

Основным влиянием на пресс-форму является термоциклирование. Термоциклирование пресс-форм для литья во время производства создает растягивающие напряжения на поверхности пресс-формы. Такие растягивающие напряжения могут произойти через 10 впрысков на пресс-форму, которая была фактически без напряжения поверхности в начале. Если растягивающие напряжения увеличивают длину в горячем состоянии материала пресс-формы, то они формируют небольшие трещины на местах концентрации напряжения на поверхности пресс-форм, вызванные неровностями поверхности или даже межзерёнными границами материала. Когда пресс-формы проходят термоциклирование в производстве, растягивающее напряжение становится причиной увеличения трещин. Было проведено множество научных исследований с применением методов рентгеноструктурного анализа для выявления причин возникновения разгарных трещин. Результаты исследований подтвердили, что растягивающее напряжение поверхности является причиной разгарных трещин. На рисунке 61 представлено изображение разгарных трещин.

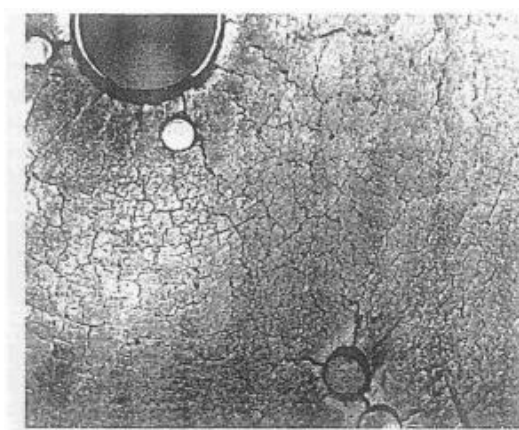


Рисунок 61 - Разгарные трещины на поверхности отливки

Научное исследование показало, что на поверхности пресс-формы с растягивающим напряжением достигается высокий уровень растяжения во время операции, и на поверхности пресс-формы со сжимающим напряжением достигается значительно низкий уровень растягивающего напряжения во время операции по сравнению с поверхностью пресс-формы без напряжения.

Согласно результатам исследования и промышленные предложения каждый литейщик должен оценивать эффективность затрат на отпуск напряжения и дробеструйную обработку для пресс-форм, используемых в определённых операциях.

На основе исследований были предложены следующие рекомендации:

- Отпуск напряжения должен осуществляться на пресс-формах для литья после первичного проведения пробы и согласно плану работ в зависимости от критичности проведенной проверки разгарных трещин. Отпуск напряжения должен проводиться при температуре 50°F – ниже самой высокой температуры отпуска, которая ранее соблюдалась при термообработке пресс-формы. Отпуск служит для сокращения напряжения поверхности пресс-формы до нуля.
- С пресс-формы должно сниматься напряжение после проведения электроэрозионной обработки на пресс-форме.
- С пресс-формы должно сниматься напряжение и перед и после любых сварочных ремонтных работ с обработанной пресс-формой.
- Дробеструйная обработка должна применяться согласно отпуску напряжения с целью создания сжимающего напряжения на поверхности пресс-формы, которая в дальнейшем уменьшает количество проверок пресс-формы на разгарные трещины и может приостановить рост существующих трещин на поверхности. Для того чтобы увеличить сжимающее напряжение, пресс-форма должна проходить дробеструйную обработку после каждого отпуска напряжения для восстановления сжимающего напряжения

на ее поверхности. Некоторые литейщики добивались отличных результатов благодаря дробеструйной обработке только после каждого второго отпуска напряжения.

- Важными являются технические знания и опыт специалистов, выполняющих отпуск напряжения и, в особенности, дробеструйную обработку. Для подтверждения технической компетенции как возможного поставщика следует отрабатывать точный процесс производства.

Термическая усталость является одной из наиболее распространенных и наиболее дорогих проблем, которые встречаются в литейной промышленности. Этот тип поломок является результатом многократных, быстрых, неравномерных нагревов и охлаждений пресс-форм, а также термомеханических нагрузок. Первичное появление усталостных дефектов характеризуется появлением разгарных трещин на поверхности формообразующих. Дальнейшее развитие разгарных трещин часто приводит к появлению вмятин или дефектных отливок.

Пресс-формы подвергаются периодическим механическим и термическим нагрузкам. Каждый цикл машины подвергает пресс-форму механическим нагрузкам замыкающего усилия машины и давлению в камере, а также термическим нагрузкам из-за охлаждения и отвердевания литейного сплава, и внешнего и внутреннего охлаждения. Каждое из этих усилий оказывает влияние на меняющееся во времени напряженно-деформированное поле в пределах формы. Предел, до которого усилия оказывают влияние на деформативность и срок службы формы, больше всего определяется их размерами и зонами, на которые они оказывают влияние.

На машине, которая настроена должным образом, замыкающее усилие поддерживается одинаковой зоной контакта обоймы поверхностей формы. Хотя замыкающее усилие может составлять тысячи тонн, усилие на единицу поверхности на штампе является относительно небольшим из-за широкой площади поверхностей форм.

Давление в камере является более значимым для проблемы усталости, чем давление из-за замыкающего усилия машины, по двум причинам. Во-первых, такое давление выше, чем давление замыкающего усилия. Во-вторых, такое давление прикладывается к тем же самым поверхностям, к каким прикладывается максимальная термическая нагрузка. Положительное давление в камере во время усиления также может создать сжимающее усилие на формообразующей поверхности.

Самая большая термическая нагрузка на форме встречается во время охлаждения и отвердевания литейного сплава и во время оросительного охлаждения формы.

Существует мнение, что пресс-формы литья алюминия под давлением порождают остаточное напряжение на растяжение в обслуживании как результат пластического сжимающего напряжения, появившегося во время первоначального нагрева. Если пресс-форма начинает работать с остаточным сжимающим напряжением 690 МПа, объем совокупного пластического сжимающего напряжения, полученного после 10 циклов работы, имеет порядок 0.0007. Напряжение немного увеличивается после первого цикла, а затем достигает условий установившегося состояния после нескольких циклов. Эти подсчеты показывают, что остаточное напряжение на растяжение развивается во время первого цикла работы. Механическое упрочнение затем демпфирует совокупное пластическое напряжение и немного амплитуду пластического напряжения с последовательными циклами.

В результате исследования были выявлены следующие закономерности:

- Появление разгарных трещин на ранних сроках службы имеет три вида происхождения: ямы и волнистые образцы, различные царапины от мехобработки и дефекты, такие как соединение зубьями и детали с концентрированным напряжением поверхностей пресс-формы.

- Остаточное напряжение на поверхности, которое было сжимающим до операции литья под давлением из-за полировки, изменилось незамедлительно по направлению к стороне растяжения и стало насыщенным на ранней стадии операции. Этот факт рассматривался для того, чтобы получить результат от следующего процесса: слой поверхности пресс-формы быстро нагревается при помощи расплавленного алюминия, термическое напряжение ограничивается при помощи нижнего слоя, и, следовательно, слой поверхности подвергается сжимающему напряжению. После охлаждения остаточное напряжение поверхности изменяется по направлению к стороне растяжения и насыщается при определенном значении напряжения на ранней стадии операции.
- Со стороны литника полости, в которой насыщенное остаточное напряжение было большим, микротрещины появились во время насыщения. В положении, противоположном литнику, в котором насыщенное остаточное напряжение было небольшим, остаточное напряжение не понизилось, и микротрещины не появились в конце срока службы пресс-формы.
- На поздней стадии развития трещин на стороне литника полости пресс-формы появление разгарных трещин было видимо невооруженным взглядом, и остаточное напряжение на растяжение уменьшилось до нуля.
- В общих чертах, исследования за многие годы подтвердили, что появление разгарных трещин на пресс-формах для литья под давлением вызывается чрезмерным напряжением на растяжение на поверхности пресс-формы, которое порождает трещины. Такое же напряжение приводит к росту трещин. Такие разгарные трещины могут быть минимизированы путем правильного выбора и обработки стали используемой для пресс-форм. Также они минимизируются путем сокращения перепада температур,

существующих на поверхности пресс-формы цикла литья и путем минимизирования разниц температур в различных частях пресс-формы. Без правильного выбора и обработки стали и минимизирования температурных кривых в пресс-форме появление разгарных трещин будет выше.

Несмотря на все профилактические мероприятия, которые могут быть приняты для сокращения напряжения на растяжение, которое появляется на поверхности пресс-форм для литья под давлением, они не могут быть удалены. Поэтому ставится задача о том, как лучше всего сократить такое напряжение до того, как оно нанесет вред пресс-форме. Для этого существуют методы для снятия этих напряжений. Первый метод предназначен для снятия термического напряжения.

Снятием термического напряжения в промышленности при попытке сократить или устранить напряжение на растяжение, присутствующее на поверхности пресс-формы после того, как она была в производстве в течение определенного времени, называется соответствующим образом «отпуск напряжения». Снятие напряжения производится только на пресс-формах в мягких условиях (отожженные) при температуре около  $675^{\circ}\text{C}$ . Это может быть сделано на пресс-формах, которые имеют значительную сварку из-за ошибки мехобработки или изменения конструкции. Цель снятия напряжения является предотвращение образования закалочных трещин в зонах сварки. Вторая причина для снятия напряжения будет для более комплексных пресс-форм, у которых деформация пресс-форм будет большой проблемой.

Отпуск напряжения осуществляется на пресс-форме, которая была закалена при температуре примерно в  $537^{\circ}\text{C}$  или  $10^{\circ}\text{C}$  ниже самой высокой температуры отпуска, которая предварительно была использована во время термообработки пресс-формы. Такой отпуск напряжение осуществляется в следующих случаях:

- После любых работ EDM (обязательно).
- После финальной мехобработки (обязательно).

- После ремонта готовой пресс-формы сваркой (обязательно).
- До ремонта сваркой на готовой пресс-форме (желательно).
- После того, как на пресс-форме было отлито определенное количество отливок (желательно).

Это как раз такой запланированный отпуск напряжения, который служит для снятия напряжения на растяжение, которое появляется на поверхности пресс-формы во время ее эксплуатации в производстве. Этот процесс также именуется в промышленности как снятие напряжения. Однако, важно знать разницу на практике. Если отпуск напряжения выполняется, когда снятие напряжения было верным процессом, это не будет непоправимой ошибкой. Противоположная ошибка, в которой готовая закаленная пресс-форма подвергается снятию напряжения ( $537^{\circ}\text{C}$ ), может привести к тому, что пресс-форма станет слишком мягкой для нормального срока службы пресс-формы.

Во время литья под давлением поверхность пресс-формы подвергается термическим напряжениям, которые произошли в результате изменений температуры. Такие результаты многократной деформации в остаточном напряжении, которое возникло на поверхности пресс-формы, как это было подробно обсуждено в предыдущем разделе. Во многих случаях такое остаточное напряжение будет относиться к растяжению по своей природе и, следовательно, будет способствовать появлению разгарных трещин. Отпуск напряжения пресс-формы сократит уровень остаточного напряжения на растяжение и, следовательно, увеличит срок службы формы. Рекомендуется, чтобы отпуск напряжения выполнялся после периода обкатки, а затем после 1000-2000 и 5000-10000 отливок. Затем процедура повторяется для каждых дополнительных 10000-20000 отливок при условии, что на форме появляется только незначительное количество разгарных трещин. Однако, есть один момент в отпуске напряжения пресс-формы с разгарными трещинами, потому что само формирование трещин на поверхности сокращает уровень

остаточного напряжения, пока не требуется выполнение упрочняющей дробеструйной обработки на пресс-форме.

Отпуск напряжения лучше всего выполнять при температуре примерно 10°C ниже самой высокой температуры отпуска, которая использовалась во время термообработки пресс-формы. Обычно времени выдержки в два часа при температуре бывает достаточно.

Следующим методом является дробеструйная обработка. Дробеструйная обработка – это процесс холодной обработки, при котором поверхность пресс-формы обрабатывается небольшой сферической дробью. Каждый кусочек дроби, ударяющей металл, ведет себя как крошечный молоток для проковки, создавая небольшой разрез или ямку на поверхности. Для того чтобы появились ямки, металлический слой поверхности должен поддаться напряжению. Это показано на рисунке 62.

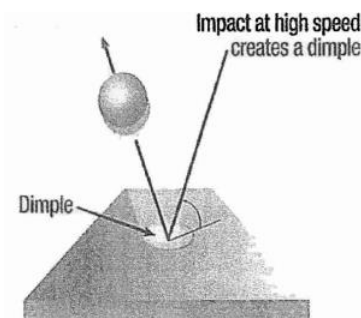


Рисунок 62 - Механическая деформация в точке удара

Под поверхностью сжатые зерна пытаются вернуть поверхность в ее исходную форму, создавая полушарие холоднодеформированного металла, который находится под высоким напряжением в сжатии. Это можно увидеть на рисунке 63. Накладывающиеся ямки создают равномерный слой остаточного сжимающего напряжения.





Рисунок 63 - Сжатие в результате удара

Металлургам известно, что трещины не появятся и не будут распространяться в компрессионной напряженной зоне. Поскольку практически все разрушения от усталости или при коррозии под напряжением происходят на поверхности или около поверхности пресс-формы для литья под давлением, сжимающее напряжение, вызванное дробеструйной обработкой, может обеспечить значительное увеличение срока службы пресс-формы. Величина остаточного сжимающего напряжения, вызванного дробеструйной обработкой, может быть равна половине напряжения на растяжение материала, который был обработан дробью.

В большинстве случаев длительных отказов пресс-формы для литья под давлением общей причиной является напряжение на растяжение. Напряжение на растяжение пытается растянуть или разорвать поверхность и, в итоге, может привести к появлению трещин. Это показано на Рисунке 64.

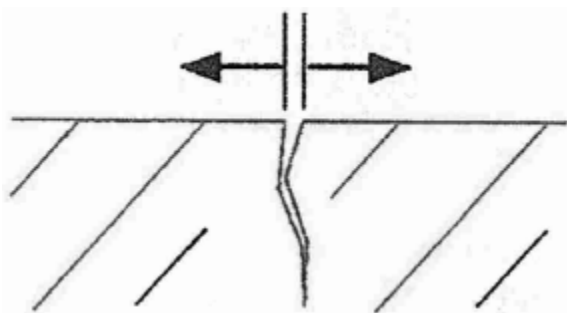


Рисунок 64 - Появление трещин и их рост благодаря напряжению на растяжение

Сжимающее напряжение сдавливает границы зерен поверхности и это отложит появление усталостных трещин. Поскольку рост трещин замедлен в компрессионном слое, повышение глубины этого слоя повышает сопротивление образованию трещин. Дробеструйная обработка является очень экономичным и практичным методом обеспечения того, чтобы поверхность пресс-формы обладала остаточным сжимающим напряжением. В оставшейся части этой главы представлены несколько аспектов дробеструйной обработки пресс-формы для литья под давлением. Это включает в себя рассмотрение для глубины остаточного напряжения, контроля процесса дробеструйной обработки и будущих технологий дробеструйной обработки.

Глубина остаточного сжимающего напряжения, переданного стальной пресс-форме, подвергается влиянию от изменений параметров дробеструйной обработки и твердости материала, обработанного дробью. Средство, наиболее часто используемое для дробеструйной обработки, состоит из небольших сфер литой стали, режущей проволоки (углеродистая сталь и нержавеющая сталь) и керамического или стеклянного материала. Чаще всего применяется литая сталь или ковкая углеродистая сталь. Средство из нержавеющей стали используется в приложениях, где загрязнение железом представляет интерес. Режущая проволока из углеродистой стали, в условиях практически круглой формы, устанавливается наиболее часто из-за своей однородности. Стеклянная дробь также используется, когда загрязнение железом представляет интерес. Обычно они меньше и легче, чем другие средства, и могут использоваться для дробеструйной обработки в острых радиусах резьбы и на затруднительных деталях, где требуется очень низкая интенсивность.

Твердость дроби будет также влиять на значение сжимающего напряжения. Это показано на Рисунке 65. Средство дробеструйной обработки должно быть, по крайней мере, таким же твердым и тверже, чем

обрабатывающий инструмент, иначе качество обработки поверхности станет критическим фактором.

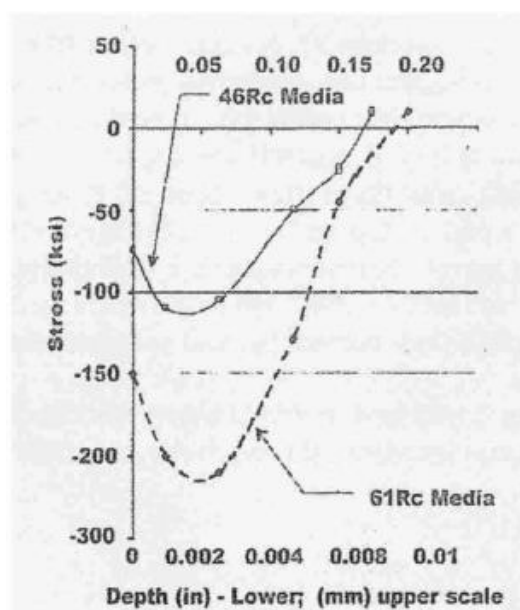


Рисунок 65 - Эффект от средства 46 Rc и 61 Rc на сжимающем напряжении, переданном на форму

Средство 45-52 HRC является общеупотребительным и эффективным, но является не таким хорошим в создании требуемого сжимающего напряжения, как в материалах с более высокой твердостью в диапазоне 55-62 HRC. Поскольку материал с более высокой твердостью дороже, он может использоваться для обеспечения необходимых значений максимальной глубины и высокого сжатия. Более твердое средство является неотъемлемым во время обработки пресс-форм из азотированной или азотонауглеродистой стали.

Контроль процесса дробеструйной обработки является важной частью успешной передачи требуемого сжимающего напряжения на поверхность пресс-формы. Дробеструйная обработка является процессом на прямой видимости, и доступ к поверхности является важным. Когда глубина внутреннего слепого отверстия больше, чем диаметр отверстия, оно не может

быть эффективно обработано при помощи внешних методов. Были разработаны специальные внутренние трубки, которые устраняют такое ограничение, когда используется при точно регулируемых условиях. Это оборудование дает возможность обработать такие маленькие отверстия, как 0,096 дюймов (2,4мм) в диаметре.

Другой аспект дробеструйной обработки состоит в том, что контроль процесса отличается от многих производственных процессов, в которых нет неразрушающего метода контроля, чтобы подтвердить, что процесс был выполнен по соответствующей спецификации. Такие техники, как дифракция рентгеновских лучей, требуют, чтобы для детали был создан полный анализ профиля сжимающей глубины. Важно, чтобы следующие переменные были сохранены, чтобы обеспечить воспроизводимые спецификации по дробеструйной обработке.

Во-первых, должна быть сохранена достоверность средства дробеструйной обработки. Средство должно быть преимущественно круглым, и когда средство выходит из строя, неисправное средство должно быть незамедлительно удалено, чтобы избежать повреждения поверхности. Также средство дробеструйной обработки должно иметь постоянный диаметр. Если используется партия средств смешанного размера для дробеструйной обработки, большее средство будет управлять более глубоким остаточным компрессионным слоем, полученным в неравномерном слое напряжения. Требуется оборудование специальной классификации, чтобы обеспечить выполнение данных критериев.

Во-вторых, необходимо соблюдать интенсивность дробеструйной обработки. Для того чтобы выполнить это, металлические полоски различной толщины обрабатываются вместе с деталью. Сжимающее напряжение на металлических полосках приводит к тому, что полоски сгибаются. Интенсивность дробеструйной обработки может быть измерена путем деформации металлической полоски. Такой контроль процесса необходим, чтобы обеспечить последовательность при каждой обработке пресс-формы

или вставки. Проверка зоны действия дробеструйной обработки на всей детали также должна быть выполнена. Это выполняется при помощи нанесения специального флюоресцентного красителя на поверхности пресс-формы. После того, как деталь была обработана, проверка под ультрафиолетовым (черным) светом позволяет сделать вывод, что вся поверхность прошла дробеструйную обработку в соответствии со спецификациями.

В настоящее время существует такая технология как лазерная обработка. Для процесса используется уникальное Nd: стекло, высокая выходная мощность, лазер с высокой частотой повторения импульсов в сочетании с точной роботизированной манипуляцией деталей, которые должны пройти лазерную обработку. Во время процесса лазерной обработки лазер обжигает поверхность металлической детали, чтобы создать импульсы давления в один миллион фунтов на квадратный дюйм, которые посылают ударную волну через деталь. Многократное включение лазера создает predetermined образец поверхности и передает слой сжимающего напряжения на поверхности, который в четыре раза глубже, чем достигаемый существующей технологией дробеструйной обработки. Основной выгодой использования лазерной обработки является очень глубокий сжимающий слой с минимальной холодной обработкой, что повышает сопротивление компонентов к механизмам разрушения таким, как усталость, усталость теплового удара и появление разгарных трещин.

Рекомендуется, чтобы с пресс-форм снималось напряжение после 25,000 впрысков. Еще раз снимается напряжение после первичного отбора проб и после любых ремонтных работ по пресс-формам или изменениям, которые включают сварку, электроэрозионную обработку, финишная шлифовка или полировка. При первых признаках проверки разгарных трещин пресс-форма должна полироваться и с нее должно сниматься напряжение при температуре 950°F. После приемки последней пробы

поверхность пресс-формы может обрабатываться нитроцианированием для улучшения свойств ее поверхности по желанию.

Так же рекомендуется, чтобы после приемки последней пробы была рассмотрена дробеструйная обработка с микронной точностью. С помощью данного процесса поверхность пресс-формы приходит в состояние сжимающего напряжения, и сообщаются положительные результаты по сокращению растрескиваний при термической усталости (проверка разгарных трещин). Дробеструйная обработка с микронной точностью должна повторяться за половину обычного срока службы необработанной оснастки. Например, если в пресс-формы выполняется до 120,000 впрысков, половиной срока службы будет считаться 60,000 впрысков. Возможно, потребуется более частое использование в зависимости от программы проверок разгарных трещин на поверхности пресс-формы. Если эксплуатация ведется правильно, то должны выполняться отпуск напряжения и нитроцианирование вместе с дробеструйной обработкой.

Таким образом, согласно результатам исследований и техническим разработкам причиной проверок разгарных трещин в пресс-формах для литья под давлением является термоциклирование на поверхности пресс-формы, которое приводит к растягивающему напряжению, образуемому на поверхности. Эти растягивающие напряжения могут происходить после 10 впрысков на пресс-форме, которая была в самом начале без напряжения. Если растягивающие напряжения увеличивают длину материала пресс-формы, то они вызывают небольшие трещины на местах концентрации напряжения на поверхности пресс-формы, которые образуются из-за дефектов поверхности или даже межзеренных границ материала. Если возникают трещины, снимаются растягивающие напряжения. Поскольку пресс-форма постоянно проходит термоциклирование, снова возникает растягивающее напряжение и трещины продолжают расти со временем. В результате чего установили для улучшения качества деталей, требуется

повышать качество пресс форм опираясь на следующие следующие заключениями и рокомендации:

- Основными свойствами материалов, положительно влияющими на стойкость к проверкам разгарных трещин, являются высокая твердость, высокая предел текучести в горячем состоянии, высокая стойкость отпуска, хорошая пластичность и высокая теплопроводимость.
- Поверхности, обработанные электроэрозией и рассмотренные в этом исследовании, не обладают значительной разницей характеристик разгарных трещин и традиционно отшлифованной поверхности.
- Поверхности, обработанные азотированием и, в особенности, покрытые химическими осадениями из паровой среды, обладают отличной стойкостью к образованию трещин. Как только возникают первые предпосылки, очень быстро развиваются трещины.
- Поверхности, прошедшие грубую дробеструйную обработку или фрезеровку, имеет высокую стойкость к разгарным трещинам. Увеличение жесткости поверхности из-за холодной обработки металла может быть объяснением для результатов.
- Отпуск напряжения при обычных интервалах снижает остаточные растягивающие напряжения и оказывает благоприятное воздействие на стойкость разгарных трещин.

Стоит таже обращать внимание на технологию процесса литья, для того чтобы избежать литьевых дефектов (пористость).

Следующим для рассмотрения этапом технологического процесса является процесс механической обработки. Который на прямую влияет на жизнь детали в составе узла.

Первым этапом механической обработки отливки является обрубка, которая, для алюминиевых сплавов осуществляется механическим способом.

Вторым этапом является зачистка отливки от оставшихся неровностей, таких как заливов, следов литников и выпоров, при помощи шлифовальных кругов и пневмозубил. Для небольших деталей используются шлифовальные станки, а для более габаритных переносных станков. Для легкоплавких сплавов используют также электроконтактный метод.

Следующий этап — это очистка отливки от пригара.

Дальнейшая механическая обработка осуществляется согласно технологическому маршруту. Который включает в себя обработку поверхностей, отверстий.

На данном этапе важна точность обработки, так как существуют строгие требования к взаимному расположению деталей. Механическая обработка должна обеспечивать плотное прилегание в местах контакта двух деталей, чтобы обеспечивать герметичность.

Соблюдение данных требований и обеспечение высокой точности обработанных поверхностей и отверстий приведет к предупреждению дефектов, возникающих в процессе эксплуатации узла. Поэтому ближе к концу сборочной линии коробки передач снова часто проверяются на герметичность, на этот раз изнутри. Вместо создания вакуума на детали и заполнения испытательной камеры гелием, процедура обратная. В испытательной камере создается вакуум, и трансмиссия заполняется гелием.

Процесс работает следующим образом: полностью собранная коробка передач помещается в камеру и герметизируется. Затем трансмиссионная и испытательная камеры одновременно вакуумируются, а трансмиссия заполняется гелием. Поскольку перепад давления на уплотнениях коробки передач не может превышать 4 фунтов на квадратный дюйм, в коробке передач внутреннее давление составляет 100 процентов гелия при давлении приблизительно 3 фунтов на квадратный дюйм.

При наличии утечки гелий вылетит из корпуса трансмиссии в испытательную камеру, где он будет обнаружен прибором Inficon LDS3000



Испытание наизнанку выполняется потому, что производители предпочитают проводить испытания в соответствии с критериями дизайна испытываемого изделия. Для автоматической коробки передач давление жидкости оказывается изнутри наружу. Испытание с гелием наизнанку повторяет эти рабочие условия. Если под давлением проходы сжимаются или суставы расширяются, гелий может выходить так же, как и жидкости. Несмотря на сложность трансмиссии - с ее электромагнитными клапанами, гидротрансформаторами, червячными дорожками и другими путями - гелий может быстро переходить в вакуум, если есть утечки. Схема установки представлена на рисунке 66.

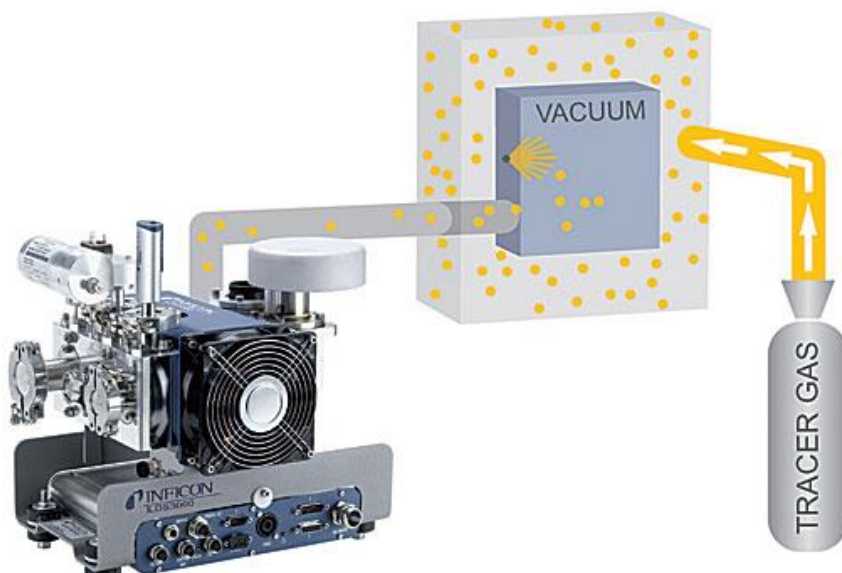


Рисунок 66 – Схема установки для проверки деталей на герметичность

Процесс с гелием является более повторяемым испытанием по сравнению с другими методами испытаний и не зависит от температуры. Обнаружение утечки гелия исключает множество переменных из уравнения испытания, обеспечивая высокую воспроизводимость и воспроизводимость калибровки.

По сравнению с методами воздушных испытаний, гелиевое тестирование дает ряд преимуществ. С одной стороны, тестирование воздуха

значительно зависит от температуры. Горячие детали или охлаждающие детали могут стать причиной неточности и неповторимости теста массового расхода. Во-вторых, испытания на герметичность не зависят от объема детали. Методы испытаний воздуха, такие как массовый расход и падение давления, зависят от объема детали. Большие объемы соответствуют более длительному времени испытаний и пониженной чувствительности.

Испытание на снижение давления требует времени стабилизации. В некоторых случаях давление в детали, возможно, придется «сбрасывать» несколько раз. Однако добавление давления также добавляет тепло, что может повлиять на точность теста.

Обнаружение утечки гелия происходит при более низких давлениях. Это экономит время и повышает безопасность. Из-за чувствительности детекторов утечки гелия Inficon для проверки детали требуется лишь небольшое количество гелия. В зависимости от части типичный гелиевый тест стоит приблизительно 0,09 доллара США за часть. Даже при низких давлениях гелий может обнаруживать утечки, основанные на времени, такие как стрингеры и пористость, которые могут быть пропущены при испытаниях на массовый расход и падение давления.

Если деталь имеет дефект в виде пористости, в котором имеется большое количество крошечных отверстий, то индикаторный газ является единственным методом, который может обнаружить утечку. Так же возможен пропуск утечки при испытании на снижение давления или на массовый расход, потому что они не обнаружат миллионы утечек почти молекулярного размера. Дефекты часто находятся в точках стыковки отливки. Процесс литья вызывает включения в алюминии, что создает путь утечки. Тонкие стенки, снижающие вес, также могут создавать потенциальные проблемы с пористостью.

Проанализировав технологический процесс изготовления картера сцепления, можно сделать вывод о том, что для повышения уровня качества детали требуется обратить на такие факторы как изготовление пресс формы и

механическую обработку детали. Для пресс-формы следует создавать поверхностное напряжение для избежание появления разгарных трещин на детали. Для этого был определен ряд рекомендаций. С стороны мех обработки, необходимо, привлекать высоко квалифицированных специалистов , которые способны обрабатывать поверхности с допустимыми отклонениями.

## Заключение

Результатом проведенной работы стало повышение качества и оптимизации прочностных характеристик картера сцепления коробки передач на основе существующих средств и методик, выведенных при анализе процесса создания детали.

Одним из путей решения проблемы, является обеспечение требуемых характеристик деталей, к которым относятся правильно подобранные материалы, конструкцию и геометрические показатели, а также важен контроль качества полученных заготовок на всех этапах, от разработки до эксплуатации, что описывается в первом разделе.

В разделе два были проанализированы дефекты корпусных деталей, которые значительно понижают технические характеристики и влияют на работоспособность узла в целом, а также методы их контроля.

Сравнительный анализ характеристик сплавов в разделе три заключает, что алюминиевый сплав, в состав которого добавили 3% меди, показал лучшие результаты. При переходе от АК12М2 к AlSi9Cu3, мы получаем существенный прирост предела прочности  $R_m$ , который составил приблизительно 25%. Можно сделать вывод что, рассматриваемая деталь (картер сцепления), будет лучше сопротивляться нагрузкам, возникающим при работе в составе автомобиля. Помимо этого, минимальное значение предела текучести увеличилось со 137 МПа до 156 Мпа. Немаловажный показатель как твердость, возрос до 104 единиц по Бринеллю, а это прирост в 11%. На ряду с более высокими физико- механическими свойствами, материал AlSi9Cu3 имеет более высокую стойкость к коррозии. Следующим этапом после анализа характеристик материала необходимо произвести расчет конструкции на прочность. На данном этапе будет проводиться оценка напряженно-деформированного состояния. Для созданной 3D модели картера сцепления необходимо задать параметры и характеристики предложенного сплава AlSi9Cu3 и сравнить показатели внутренних

напряжений и зон, наиболее подверженных деформации. вследствие чего появится возможность определить наиболее качественный сплав. Из сравнения полученных показателей напряжений для двух материалов наблюдаем, что зон с показателями нагрузок, превышающих предел прочности, больше в детали из сплава АК12М2. Из этого следует, что доработка конструкции для картера из сплава АК12М2 потребует увеличения толщины стенок детали и добавления дополнительных ребер жесткости, что повлечет за собой большую материалоемкость.

В разделе четыре были проанализированы факторы появления дефектов корпусных деталей, рассмотрен вопрос об изготовлении пресс-формы и проанализированы возможные мероприятия по улучшению их качества. Литье под давлением в первую очередь зависит от качества пресс-формы, а также ее ресурса, это связано с тем, что она является главным ценовым фактором. Методы, применяемые для сокращения концентрации напряжения на поверхности пресс-формы, включают отпуск термического напряжения и дробеструйную обработку. Отпуск напряжения пресс-формы сократит уровень остаточного напряжения на растяжение и, следовательно, увеличит срок службы формы, что в свою очередь сократит появление дефектов отливки.

Сжимающее напряжение сдавливает границы зерен поверхности и это отложит появление усталостных трещин. Поскольку рост трещин замедлен в компрессионном слое, повышение глубины этого слоя повышает сопротивление образованию трещин. Дробеструйная обработка является очень экономичным и практичным методом обеспечения того, чтобы поверхность пресс-формы обладала остаточным сжимающим напряжением. Заключаящим этапом проверки качества детали является проверка на герметичность. Испытания на герметичность проводится с целью выявления дефекта литья – пористости, который является причиной утечки трансмиссионного масла из коробки передач во время эксплуатации.

Предлагаемые методы по совершенствованию процесса создания картера сцепления и его конструкции универсальны и способствуют выявлению наиболее часто встречаемых дефектов и методов их устранения.

## Список используемых источников

1. Захаров Ю.А., Рылякин Е.Г., Лахно А.В. Анализ способов восстановления посадочных отверстий корпусных деталей машин / Молодой ученый. 2014. №16. С. 68-71.
2. Костин И.В. Исследование и совершенствование процесса модифицирования плоских слитков из алюминиевых сплавов 5XXX серии: автореферат дис. ... кандидата технических наук: ВАК РФ 05.16.04 / И.В. Костин ; М-во образования и науки РФ, Новосибирский гос. ун-т, Мех.-мат. фак. – Новосибирск : РИЦ НГУ, 2015. – 97 с.
3. Каримов И.Ш Детали машин: Электронный учебный курс для студентов. ... кандидата технических наук: кафедра теоретической и прикладной механики ; БГАУ Уфа.
4. Орлов А.С Технологические процессы литейного производства в машиностроении: учебное пособие, 15.03.05 электромеханический факультет.
5. Рожин А.В. Совершенствование процессов легирования и модифицирования алюминиевых сплавов на основе систем Al-Cu-Mg и Al-Zn-Mg-Cu; автореферат дис. ... к.т.н. 05.16.04 – «Литейное производство», 2013
6. Vo, Nhon (2016). "Role of silicon in the precipitation kinetics of dilute Al-Sc-Er-Zr alloys". *Materials Science and Engineering: A*. **677**(20): 485.
7. Marquis, Emmanuelle (2002). "Precipitation strengthening at ambient and elevated temperatures of heat-treatable Al(Sc) alloys". *Acta Materialia*. **50** (16): 4021.
8. Vikhe B.S., "Design Analysis Of Industrial Gear Box Casing.", IRJET
9. Wu Y. Analysis and reduction of the phase error caused by the non-impulse system psf in fringe projection profilometry / Y. Wu, X. Cai, J. Zhu, H. Yue, X. Shao, // *Optics and Lasers in Engineering* 127 – 2020. P. 105–118.
10. Xue F. Recursive sure for image recovery via total variation minimization / F. Xue, J. Liu, X. Ai // *Signal, Image and Video Processing*. –

2019. Т. 13. № 4. Р. 795–803.

11. Zhu X. Attention-aware perceptual enhancement nets for low-resolution image classification / X. Zhu, Z. Li, X. Li, S. Li, F. Dai // Information Sciences 515 – 2020, P. 233 – 247.

12. Технология литейного производства: литье в песчаные формы: учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.П. Трухов [и др.]; под ред. А.П. Трухова. М. : Издательский центр «Академия», 2005. 528 с.

13. Салтыков В.А. Технология машиностроения. Технология заготовительного производства: учеб. пособие / В.А. Салтыков, Ю.М. Аносов, В.К. Федюкин. СПб. : Изд-во В.А. Михайлова, 2004. 336 с.

14. Руденко П.А. Проектирование и производство заготовок в машиностроении: учеб. пособие / П.А. Руденко, Ю.А. Харламов; под общ. ред. В.М. Плескача. Киев : Наукова думка, 1991.

15. Расчет припусков и межоперационных размеров в машиностроении: учеб. пособие / Х.М. Радцевич [и др.]; под общ. ред. В.А. Тимирязева. М. : Высшая школа, 2004. 272 с.

16. Машиностроение: энциклопедия. В 40 т. М. : Машиностроение, 1999. Т. III –2. 840 с. 6. ГОСТ Р 53464–2009. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку. М. : Изд-во стандартов, 2009. 54 с.

17. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. М. : Машиностроение, 1986. Т. 1. 655 с.

18. Технология конструкционных материалов : метод. указания к выполнению курсовой работы по разделу «Литейное производство» / сост. В. И. Черменский [и др.]. Екатеринбург : УГТУ — УПИ, 2000. 32 с.

19. ГОСТ 3.1125–88. Конструирование литых заготовок. М. : Изд-во стандартов, 1988. 31 с. 10. ГОСТ 3212–92. Формовочные уклоны. М. : Изд-во стандартов, 1992. 25 с.

20. Сборник практических работ по технологии машиностроения: учеб. пособие / А.И. Медведев [и др.]; ред. И.П. Филиппова. Минск : БнТУ,



2003. 486 с. 71 Библиографический список

21. Специальные способы литья : справочник / под общ. ред. В.А. Ефимова. М. : Машиностроение, 1991. 430 с.

22. Иванов В.Н. Специальные виды литья : учеб. пособие / В.Н. Иванов. М.: МГИУ, 2007. 316 с.

23. Афонькин М. Г. Производство заготовок в машиностроении / М.Г. Афонькин, В.Б. Звягин. СПб. : Политехника, 2007. 380 с.

24. Васильев А. С. Выбор заготовок в машиностроении: учеб. пособие / А.С. Васильев, А.И. Кондаков. М. : МГИУ, 2002. 80 с.

25. Сорокин Ю.А. Технологическая модель и алгоритм назначения баз механической обработки для САПР чертежа отливки / Ю.А. Сорокин, А.Д. Максимов // Литейное производство. 1998. № 4. С. 36.

26. Технология литейного производства: учебник /Б. С. Чуркин [и др.]; под ред. Б.С. Чуркина. Екатеринбург : Изд-во Урал. гос. проф.-пед. ун-та, 2000. 652 с.

27. Афонькин М. Г. Производство заготовок в машиностроении / М.Г. Афонькин, М.В. Магницкая. Л. : Машиностроение, 1987. 352 с.

28. ГОСТ 3212–92. Стержневые знаки. Основные размеры. М. : Изд-во стандартов, 1980. 24 с.

29. Филиппов Г. И. Литые заготовки и способы их получения / Г.И. Филиппов. Л. : Машиностроение, 1985. 86 с.

30. Дубинин Н.П. Кокильное литье: справ. пособие / Н.П. Дубинин, О.А. Беликов, А.Ф. Вязков. М. : Машиностроение, 1967. 460 с.

31. Литье по выплавляемым моделям / под ред. Н.И. Шкленника, В.А. Озерова. М. : Машиностроение, 1971. 456 с.

32. Коротков А. И. Литье в оболочковые формы / А. И. Коротков, А.М. Полевая. М. : Машгиз, 1963. 360 с.

33. Юдин С.Б. Центробежное литье / С.Б. Юдин, С.Е. Розенфельд, М.М. Левин. М. : Машиностроение, 1972. 360 с.

34. Литье под давлением / А.К. Белопухов [и др.]. М. :

Машиностроение, 1975. 400 с.

35. Специальные способы литья / под ред. Е.Б. Гуляева, А.М. Липницкого, Ф.Д. Оболенцова.Л.: Машиностроение, 1971. 286 с.

36. ОСТ 23.4.50–73., ОСТ 23.1.51.73. Отливки из алюминиевых сплавов.М. : Минсельхозмашиностроение, 1981. 47 с. 72 Библиографический список

37. Воробьев Ю.А. Точность деталей, получаемых литьем и прессованием из цветных сплавов и пластмасс / Ю.А. Воробьев. М. : Машиностроение, 1963. 175 с.

38. Василевский П.Ф. Технология стального литья / П.Ф. Василевский. М. : Машиностроение, 1974. 402 с.

39. Скарбинский М. Конструирование отливок / М. Скарбинский. М.; Л. : Машгиз, 1961. 574 с.

40. Рихтер Р. А. Конструирование технологичных отливок / Р.А. Рихтер. М. : Машиностроение, 1968. 254 с.

41. Технологические основы обеспечения качества машин / под общ. ред. К.С. Колесникова.М. : Машиностроение,1990. 256 с.

42. Мусина В.В Методы увеличения срока службы пресс формы для литья под давлением // Научно-методический журнал Sibak, 2020 Студенческий 21(107).

Приложение А  
Сертификат о наличии публикаций в научном журнале СибАК



**СЕРТИФИКАТ**

Настоящий сертификат подтверждает публикацию статьи в научном журнале

**«Студенческий» №21(107)**

**Мусина Валерия Владиславовна**

Научная статья:  
«Методы увеличения срока службы пресс-форм для литья под давлением»

Председатель оргкомитета  
канд. мед. наук, д-р психол. наук  
профессор, академик  
Международной академии наук  
педагогического образования



Н.В. Дмитриева

Новосибирск  
2020 год