

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
Образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный  
университет»

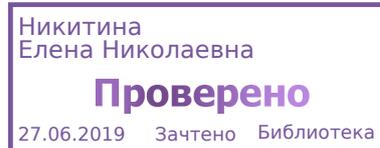
На правах рукописи

Кочекова Виктория Константиновна

**Исследование механизмов плавления алюминиевых сплавов в  
процессе лазерной резки**

Направление подготовки 22.04.01 - «Материаловедение и технология новых  
материалов»

**АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**



2019 г.

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре  
государственный университет»

Научный руководитель

Кандидат технических наук, доцент

Физулаков Роман Анатольевич

Рецензент

Кандидат технических наук

Шатанов Олег Викторович

Защита состоится 26 июня 2019 года в 9 часов 00 минут на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технология новых материалов» в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27 ауд.

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ июня 2019г.

Секретарь ГЭК

Белова Инна Валерьевна

## Общая характеристика работы

Одним из качественно новых технологических процессов, все шире внедряемых в производство, являются лазерные технологии. В их основе лежит тепловое воздействие на материалы электромагнитного излучения, создаваемого оптическими генераторами — лазерами.

Возможности сфокусированного пучка лазерного излучения уникальны. Процесс обработки лазерным лучом отличается от традиционных методов обработки отсутствием контактных явлений в зоне обработки, минимальной зоной теплового воздействия, универсальностью сфокусированного пучка — инструмента и возможностью автоматизации процесса.

В атомах электроны вращаются вокруг ядер по орбитам, составляющим дискретные *электронные слои*. Вращающиеся электроны обладают энергией, зависящей от расстояния данного слоя от ядра. Таким образом, можно рассматривать систему *уровней энергии*, которые составляют *энергетический спектр* атома или молекулы.

Возможное наименьшее энергетическое состояние атома является устойчивым (основное состояние). Переход атома или молекулы в более высокое энергетическое состояние связано с его возбуждением.

Число частиц в единице объема вещества, имеющих данный уровень энергии, называют *населенностью энергетического уровня*. В возбужденном состоянии населенность верхних энергетических уровней повышенная. Это явление называют *инверсией населенности*. Снижение энергии происходит за счет ее выделения в виде квантов. Это, так называемый, *излучательный квантовый переход*.

Энергия может снижаться и за счет безизлучательных переходов (за счет передачи избытка энергии другим частицам или усилия теплового колебания решеток)

Излучательные квантовые переходы могут быть *самопроизвольными* (*спонтанными*) и *вынужденными*. Спонтанное излучение происходит случайно, кванты испускаются хаотично в разные моменты времени и в разных направлениях в пространстве. Поэтому такое излучение является некогерентным и широкополосным по спектру.

Вынужденное излучение инициируется поглощением попадающих в вещество квантов и созданием инверсии населенности. При вынужденном излучении в процесс вовлекаются как *первичные* вынуждающие кванты, так и *вторичные*, испускаемые возбужденным атомом. Поэтому выделяемая при этом процессе энергия увеличена. В отличие от спонтанного излучения, вынужденное является когерентным, оно соответствует частоте, фазе, поляризации и направлению первичного излучения.

Сфокусированное лазерное излучение с определенными параметрами воздействия на материалы приводит к их испарению, оставляя след на участке облучения. Относительное перемещение луча или заготовки по заданной программе позволяет на обрабатываемой поверхности получать изображения в виде букв, цифр, рисунков и т. д. Эта особенность лазерного излучения используется для маркировки деталей и изделий, имеющих сложную конфигурацию, для изготовления различных табличек — носителей информации.

Лазерная гравировка деталей осуществляется за счет удаления небольших объемов материала с их тела. Для этих целей применяются лазерные технологические системы, оснащенные, твердотельными и газовыми лазерами.

Лазерная маркировка имеет ряд преимуществ перед такими методами маркировки деталей и изделий, как клеймение, механическая гравировка, травление и т.п. Применяемые для этих целей при традиционной технологии материалы (чернила, клей, бумага, и другие вспомогательные средства) из употребления исключаются.

Процесс маркировки производится с высокой скоростью (несколько десятков знаков в секунду) при отсутствии механического воздействия на обрабатываемую деталь и стружки. Он не требует последующей обработки и одинаково пригоден для нанесения различной информации на металлические поверхности, бумагу, дерево, стекло и другие материалы, и на покрашенные поверхности, не разрушая слои грунтовки.

Особую важность лазерная гравировка приобретает при изготовлении мерительного штрихового инструмента, увеличивая точность и производительность нанесения знаков и рисок.

**Цель магистерской диссертации** исследование влияния вида термической обработки и микроструктуры алюминиевых сплавов на скорость лазерной резки.

**Задачи:**

- изучить механизмы плавления алюминиевых сплавов;
- провести экспериментальные работы по лазерному раскрою алюминиевых сплавов в различном состоянии поставки;
- исследовать зависимость между микротвердостью алюминиевых сплавов и минимальной скорости раскроя при лазерной резке;
- проанализировать зависимость величины зерна алюминиевых сплавов и минимальной скорости раскроя при лазерной резке.

**Объект исследования:** алюминиевые сплавы марок Д19ЧАМ, Д19ЧАТВ, Д16АТ, АМг6БМ, В95ЧАМ, В95очАМ, В95очАТ, 1163АТ, 1163АМВ с толщиной 1,5 и 2 мм.

**Новизна полученных результатов.** В работе представлены корреляции между величиной зерна и минимальной скорости раскроя лазерной резки, а также корреляция между величиной зерна и минимальной скорости раскроя лазерной резки.

**Достоверность и обоснованность результатов исследования.**

Достоверность исследования подтверждается с использованием современных независимых взаимозаменяющих элементов.

**Практическая значимость и ценность работы.** Практическая значимость работы заключается в получении результата – позволяющий скорректировать управляющие программы для установок лазерного раскроя, с учетом состояния алюминиевых сплавов, что повысит качество газолазерного раскроя.

**Личный вклад автора.** Представленные в работе результаты получены лично автором или при его непосредственном участии.

Анализ литературных источников, обработка и анализ результатов исследования выполнены лично автором.

**Основные положения, выносимые на защиту:** исследование влияния вида термической обработки и микроструктуры алюминиевых сплавов на скорость лазерной резки.

#### **Структура и объем магистерской диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, трех разделов, заключения и списка литературы. Общий объем работы составляет 60 страниц и включает 15 рисунка, 13 таблиц, список используемой литературы, состоящий из 27 наименований.

#### **Основное содержание диссертации**

**Во введении** представлено обоснования актуальности темы диссертационной работы, изложены основные направления проведённых исследований, сформулированы цель и задачи исследований.

**В первом разделе** представлен обзор литературных данных, посвященных механизмам плавления, принципам лазерной резки и механизмам плавления алюминиевых сплавов в процессе лазерной резки

**Во втором разделе** представлен обзор технической составляющей проекта, лазерная установка BYSTAR 3015 ее технические характеристики, а так же устройство микротвердомера Shimadzu HNV-2 на которм проводился эксперимент

В третьем разделе представлен измерения микротвердости по Бринеллю, метод вычисления величины зерна по ГОСТ 21073.0-75. Выполнен сравнительный анализ.

Первым этапом исследования является поиск минимальной скорости раскроя на лазерной установки BYSTAR 3015, для каждого исследуемого образца:

Таблица 1 - Режимы резки

Марка сплава	Толщина материала, мм	Скорость реза, мм/мин	Минимальная скорость прорезания, мм/мин
Д19ЧАМ	1,5	10000	9500
		11000	
		11500	
		12000	
		12500	
		13000	
		14000	
Д16АТ	1,5	10000	11000
		11000	
		12000	
		13000	
		13500	
		14000	
		14500	
АМг6БМ	1,5	10000	11000
		11000	
		12000	
		12500	
		13000	
		13500	
		14000	
		14000	
		14500	
		15000	
		15500	
		16000	
		16500	
		17000	
1163АТ	1,5	8900	12000
		9100	
		9300	
		10000	
		11000	
		12000	
		12500	

Продолжение таблицы 1

Марка сплава	Толщина материала, мм	Скорость реза, мм/мин	Минимальная скорость прорезания, мм/мин
		13000	
		13500	
		14000	
		14500	
		15000	
		15500	
		16000	
1163АМВ	1,5	10000	8500
		11000	
		11500	
		12000	
		12500	
		13000	
		14000	
Д19ЧАТВ	2	7000	7500
		7500	
		8000	
		8500	
		9000	
		9500	
		10000	
В95чАМ	2	7000	6500
		7000	
		7500	
		8000	
		8500	
		9000	
		9500	
В95очАМ	2	6500	6000
		6600	
		6700	
		6800	
		7000	
		7000	
		7500	
В95очАТ	2	7000	7000
		7500	
		8000	
		8500	
		9000	
		9500	
		10000	

Вторым этапом исследования необходимо было выявить микроструктуру алюминиевых сплавов, измерить их микротвердость и величину зерна.

В данной работе использовался травитель реактив Келлера ( $H_2O=95$ мл;  $HNO_3=2,5$  мл;  $HCl=1,5$  мл;  $HF=1$  мл) в течение 15 секунд. Так как у образцов разная подготовка материала, травление в данном растворе для каждого образца была индивидуальной как показано в таблице 2

Таблица 2 –Время травления образцов в растворе Келлера

Марка сплава	Время травления образца, сек
1163АТ	15
Д19ЧАМ	5
1163АМВ	5
АМг6БМ	10
Д16АТ	15
В95ЧАМ	5
Д19ЧАТВ	15
В95очАТ	10
В95очАМ	10

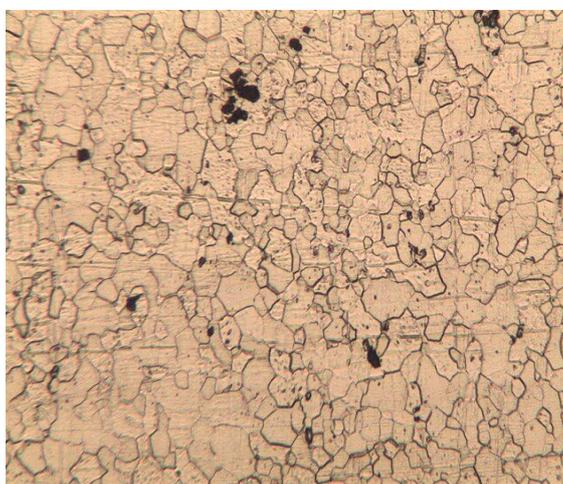
Травление поверхности кристалла происходит также в результате образования окисных и покровных пленок, зависящих от ориентации зерен. В таблице 3 показаны микроструктуры, полученные на образцах после травления:

Таблица 3 - Микроструктура образцов

Марка сплава

Микроструктура

1163АТ

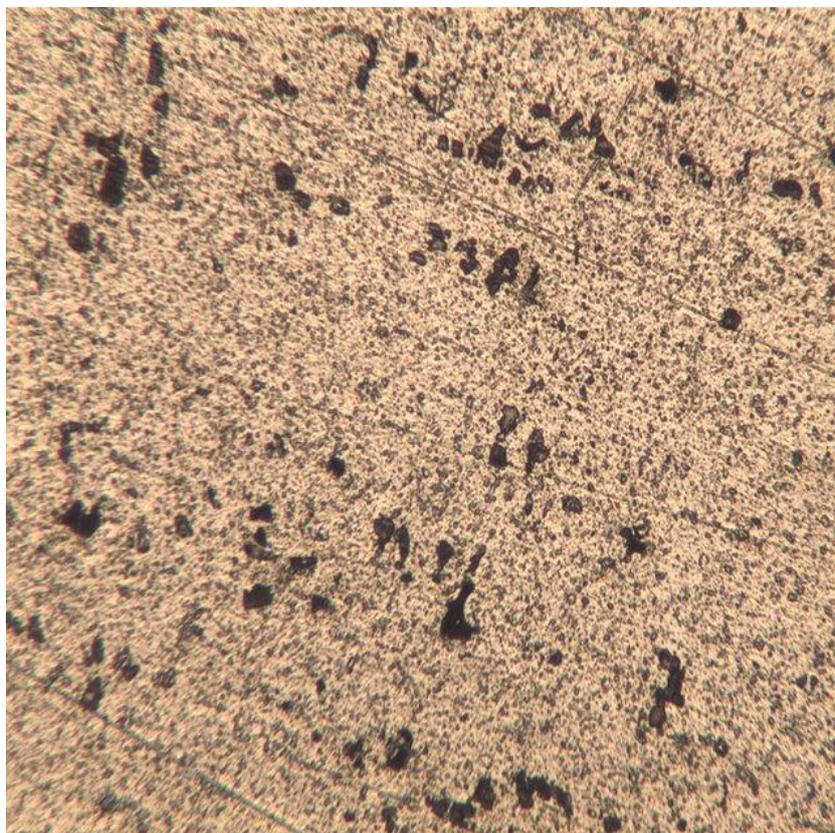


Продолжение таблицы 3

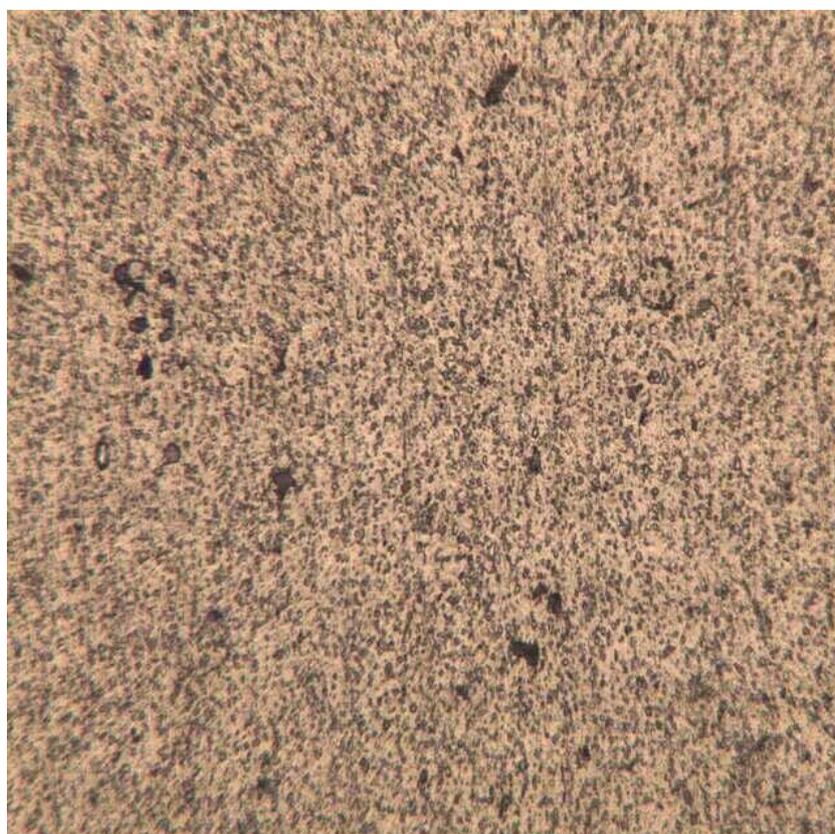
Марка сплава

Д19ЧАМ

Микроструктура



1163АМВ

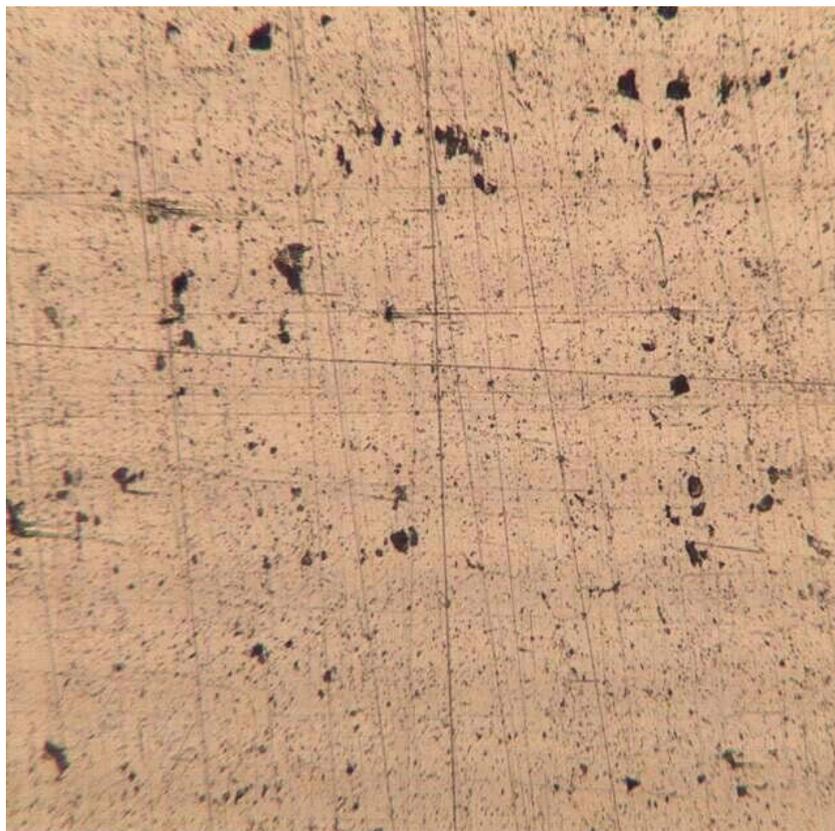


Продолжение таблицы 3

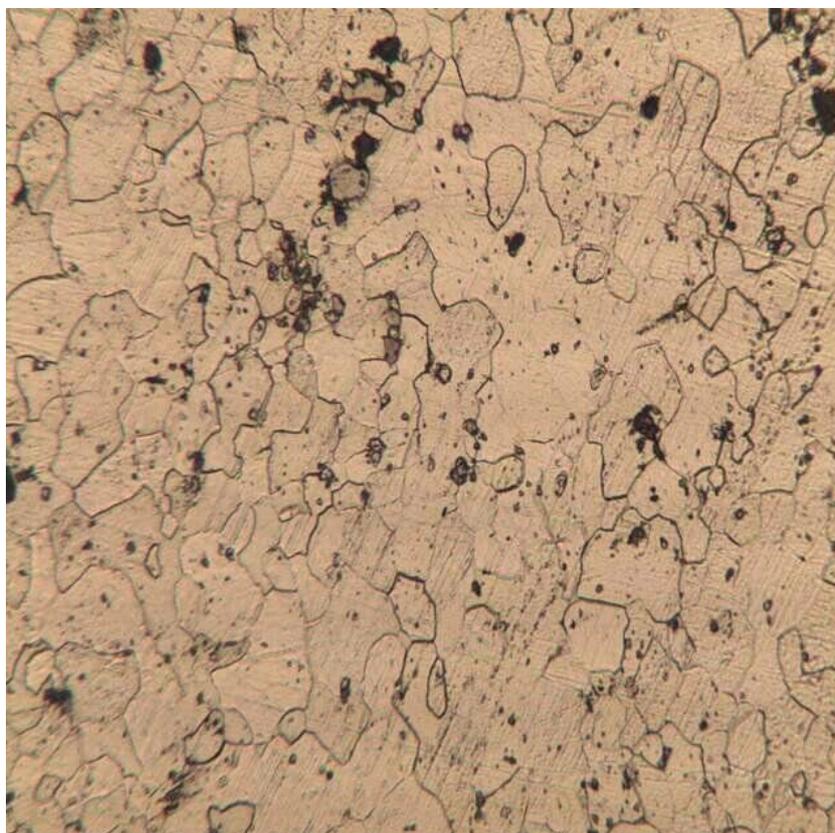
Марка сплава

Микроструктура

АМг6БМ



Д16АТ



Продолжение таблицы 3

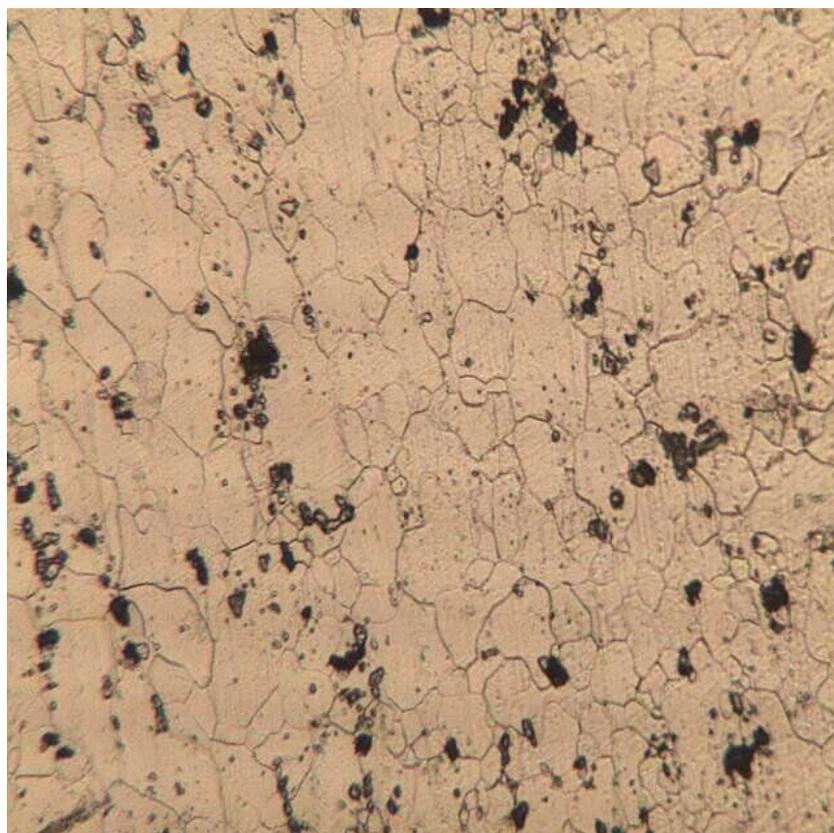
Марка сплава

В95ЧАМ

Микроструктура



Д19ЧАТВ

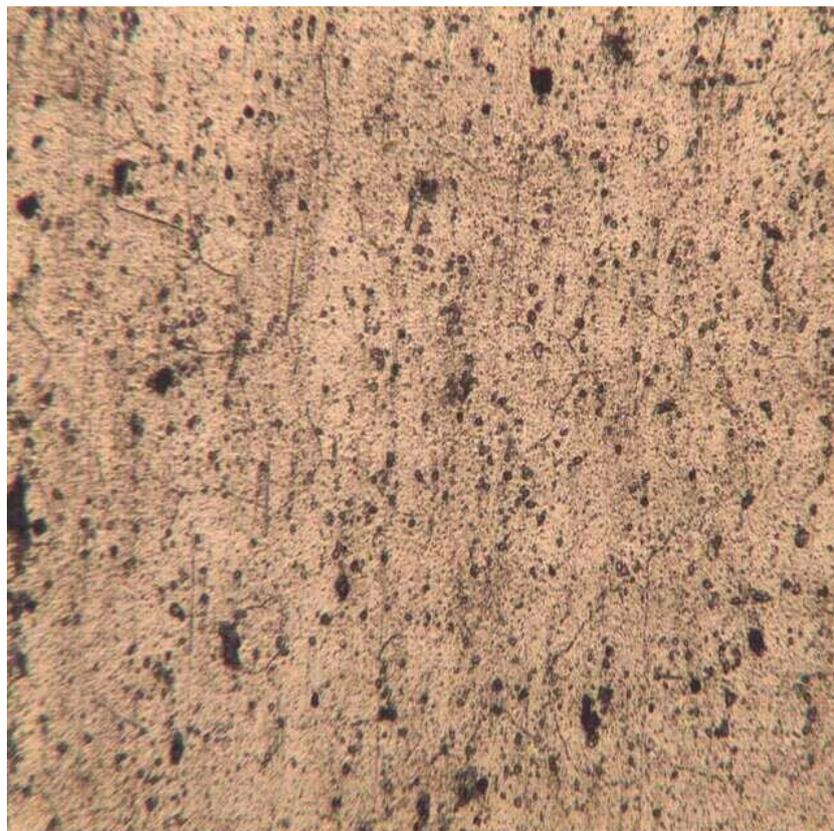


Продолжение таблицы 3

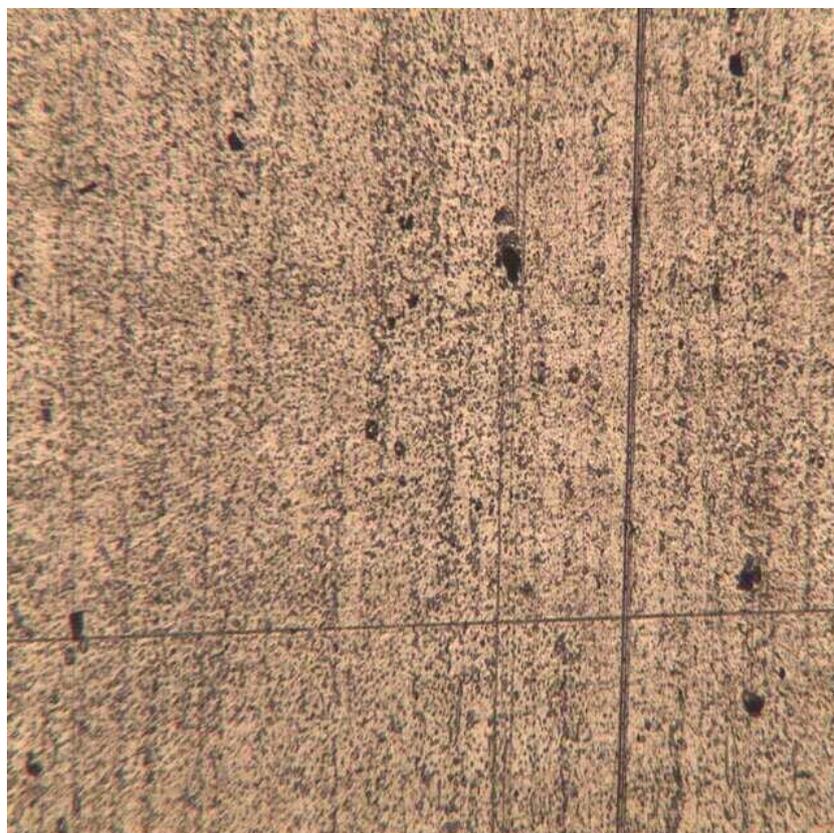
Марка сплава

Микроструктура

В95очАТ



В95очАМ



В таблице 4 приведены данные микротвердости образцов.

Таблица 4 - микротвердость испытываемых образцов

Марка сплава	Толщина, мм	HV <sub>ср</sub>	HV <sub>min</sub>	HV <sub>max</sub>
1163АТ	1,5	146,67	128	160
Д19ЧАМ	1,5	59,04	53,9	67,8
1163АМВ	1,5	60,03	53,9	66,1
АМг6БМ	1,5	98,9	89,9	108
Д16АТ	1,5	143,33	112	185
В95ЧАМ	2	68,6	63	74,5
Д19ЧАТВ	2	152,87	136	169
В95очАТ	2	122,85	92,6	141
В95очАМ	2	60,23	52,5	66,5

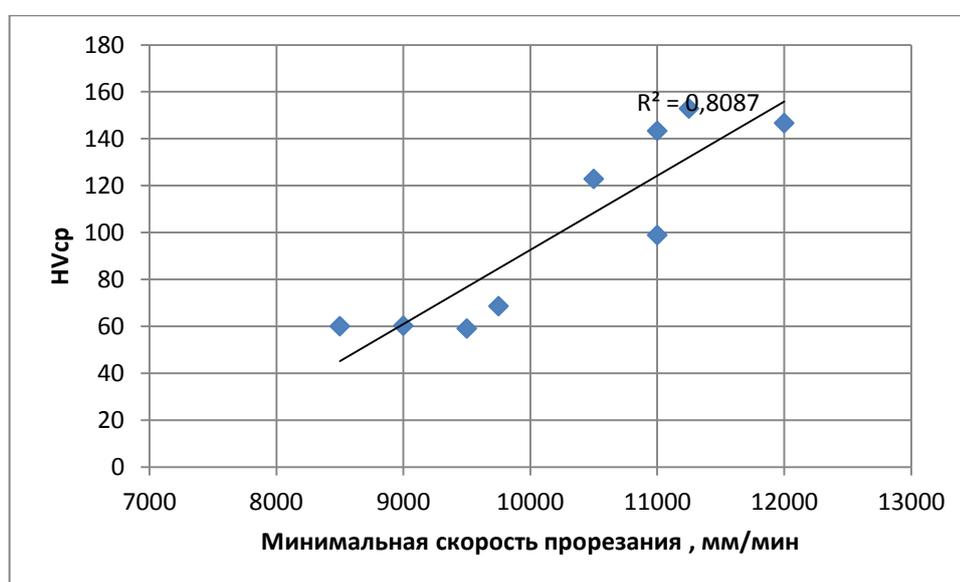


Рисунок 1 – График корреляции минимальной скорости прорезания и средней микротвердости материала

С помощью программы SIAMS 600 на базе управляющей программы SIAMS Photolab можно определить величину зерна в алюминиевых сплавах согласно ГОСТ 21073.0-75 величина зерна приведена в таблице 3.7

Таблица 5 – величина зерна алюминиевых сплавов

Марка сплава	Средняя хорда зерна, мм
1163АТ	5,31
Д19ЧАМ	2,8
1163АМВ	2,03
АМг6БМ	2,78
Д16АТ	3,09
В95ЧАМ	2,11
Д19ЧАТВ	3,54
В95очАТ	4,25
В95очАМ	1,07

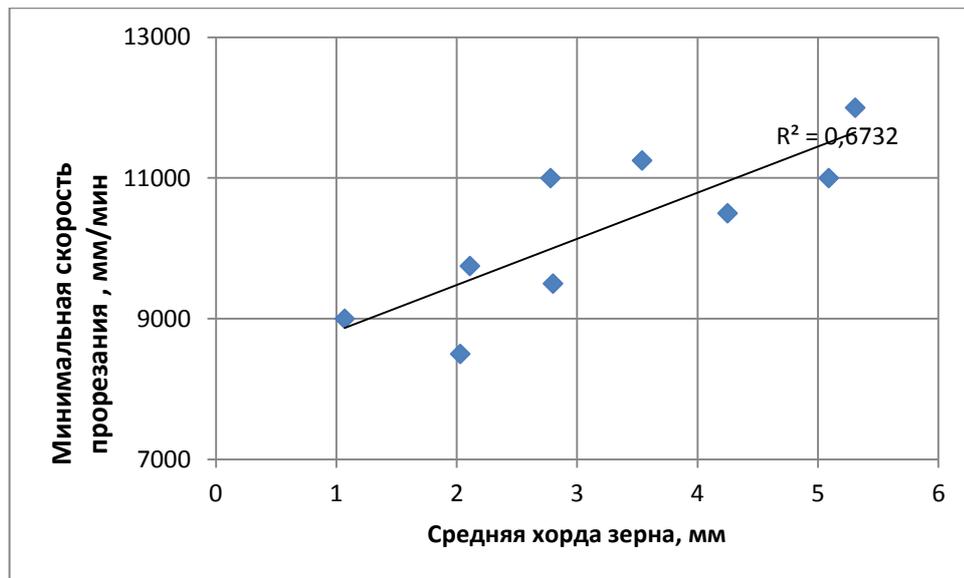


Рисунок 15 – график корреляции величины зерна сплава и минимальной скорости прорезания

## Заключение

Процесс плавления металлов и сплавов является достаточно сложным из-за «накладывающихся» друг на друга различных физико-химических явлений, однако, его сущность легче представить, чем процесс кристаллизации. Это объясняется тем, что плавление не требует образования зародышей, и процесс перехода из твердого состояния в жидкое начинается сразу же, как только металл или сплав будет нагрет до температуры начала плавления. Некоторый перегрев выше температуры плавления необходим для того, чтобы расплавление кристалла началось внутри него.

Лазерная резка является термической. В случае лазерной резки в азоте, луч лазера расплавляет, а струя азота уносит расплавленный металл из разреза. При резке лазером в кислороде, лазерный луч расплавляет металл, а кислород сначала окисляет (сжигает) расплав, а затем уносит его из разреза. Часть металла может и непосредственно испаряться. С помощью лазеров можно делать аккуратные, точные разрезы на листах металла небольшой толщины. Точность обработки металла лазером настолько велика, что часто вышедшая из установки лазерной резки деталь может быть без какой-либо завершающей резку обработки использована или передана на следующий этап производственного процесса. В установках лазерной резки, луч мощного лазера через линзу фокусируется на разрезаемом металле и расплавляет его. подаваемый под давлением через концентрическое сопло газ выдувает из разреза расплавленный металл - будь то в неизменном химически состоянии или, в случае лазерной резки в кислороде, в окисленном виде. В некоторых случаях, часть металла может непосредственно испаряться. Лазерная резка может производиться в присутствии разных газов: обычно, или кислорода, или водорода, но также аргона и иногда других благородных газов. Выбор газа зависит от специфики конкретного случая применения: вида разрезаемого металла, толщины листа, планируемой последующей обработки. В кислороде обычно режут металлы, нуждающиеся в более

высокой температуре, и в тех случаях, когда образование оксидной пленки некритично - в первую очередь, к таковым относятся низкосплавные сорта стали. К резке в азоте прибегают в случае обработки нержавеющей стали и алюминия. Некоторые чувствительные металлы, такие как, например, титан и цирконий, нельзя резать ни в кислороде, ни в азоте - их можно резать только аргоном сверхвысокой чистоты и, желательно, в заполненной этим же аргоном рабочей камере. Если необходима резка тонких листов, нам важны скорость и качество, и не беспокоит более высокая себестоимость в связи с расходом газа – нужно выбирать азот. По мере роста толщины материала к критериям выбора газа добавятся требования к дополнительным операциям по удалению окислов, и придется сравнивать возросшую стоимость азота в связи с выросшим расходом и себестоимость дополнительных операций. В любых других случаях можно использовать кислород. И при этом помнить, что чистота кислорода существенно влияет как на скорость, так и на качество резки и максимальную толщину материала, который можно разрезать имеющимся лазером.

Проведя исследование, мы увидели корреляцию между микротвердостью испытуемых образцов алюминия и минимальной скоростью реза: чем выше минимальная скорость устойчивого резания, тем выше микротвердость материала. Увеличение эффективности ГЛР материалов с повышенной микротвердостью, наблюдается у состаренных алюминиевых сплавов и обусловлено наличием фаз с большей внутренней энергией, склонных к переходу в жидкое состояние.

Микротвердость металлов и сплавов зависит от множества факторов. Можно выделить три главных фактора, от которых микротвердость зависит сильнее всего:

1. От природы металла – типа кристаллической решетки и величины межатомных сил.

2. От химического состава сплавов, имеющих как полезные компоненты, которые способствуют повышению механических свойств, так и вредные примеси.

3. От условий кристаллизации металлов и сплавов, влияющих на размер зерна, на температурный разброс кристаллизации, на размеры усадочных раковин и их количество

Таким образом, микротвердость в закаленной и отпущенной при различных температурах зависит от нагрузки на индентор. Наличие зависимостей микротвердости от нагрузки на индентор показывает существование, как минимум, двух составляющих микротвердости, одна из которых связана с трансформацией кубической решетки в орторомбическую или снижением симметрии решетки, которое приводит к росту отпускной хрупкости.

Так же в ходе исследования мы увидели корреляцию между величиной зерна и минимальной скоростью реза, чем выше минимальная скорость реза тем больше средняя хорда зерна, данная зависимость не описана физически.

Полученный результат позволяет скорректировать управляющие программы для установок лазерного раскроя, с учетом состояния алюминиевых сплавов, что повышает качество газолазерного раскроя.