### Характеристики исходных образцов колб.

В рамках OQ были изготовлены 48 образцов предварительно оплавленных колб, конфигурации, внутренние номера, идентификаторы образцов и характеристики - в Приложении 1.

### Уточнение по сути характеристик (результаты измерений):

dh - диаметр отверстия на предварительно оплавленном торце

ml - длина зоны оплавления

md - диаметр колбы

ww - wall width (ширина стенки исходного капилляра)

В рамках обработки данных к исходным характеристикам добавлены следующие расчетные значения (в целях унификации базы измерений):

dh / ml - отношение диаметра отверстия в зоне предварительного оплавления к длине зоны оплавления

Dh / ww - отношение диаметра к толщине стенки капилляра.

ml / ww - отношение длины зоны оплавления к толщине стенки капилляра.

### 

### Общие описательные характеристики

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Variable | **DUT type=ОТ 0111.471-02**  Descriptive Statistics (Spreadsheet ? OQ samples) | | | | | | | | | |
| Valid N | Mean | Confidence (-95.000%) | Confidence (95.000%) | Median | Minimum | Maximum | Std.Dev. | Coef.Var. | Standard (Error) |
| dh\_val | 24 | 0.329167 | 0.299310 | 0.359023 | 0.320000 | 0.170000 | 0.460000 | 0.070706 | 21.48017 | 0.014433 |
| ml\_val | 24 | 0.406667 | 0.386874 | 0.426460 | 0.400000 | 0.330000 | 0.500000 | 0.046873 | 11.52621 | 0.009568 |
| dh / ml | 24 | 0.829661 | 0.731968 | 0.927353 | 0.832817 | 0.354167 | 1.333333 | 0.231355 | 27.88547 | 0.047225 |
| dh / ww | 24 | 1.316667 | 1.197241 | 1.436092 | 1.280000 | 0.680000 | 1.840000 | 0.282822 | 21.48017 | 0.057731 |
| ml / ww | 24 | 1.626667 | 1.547495 | 1.705838 | 1.600000 | 1.320000 | 2.000000 | 0.187493 | 11.52621 | 0.038272 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Variable | **DUT type=ОТ 0111.471-03**  Descriptive Statistics (Spreadsheet ? OQ samples) | | | | | | | | | |
| Valid N | Mean | Confidence (-95.000%) | Confidence (95.000%) | Median | Minimum | Maximum | Std.Dev. | Coef.Var. | Standard (Error) |
| dh\_val | 24 | 0.339167 | 0.294255 | 0.384078 | 0.315000 | 0.200000 | 0.600000 | 0.106359 | 31.35903 | 0.021711 |
| ml\_val | 24 | 0.467917 | 0.447457 | 0.488376 | 0.475000 | 0.360000 | 0.580000 | 0.048453 | 10.35494 | 0.009890 |
| dh / ml | 24 | 0.753473 | 0.614455 | 0.892492 | 0.656531 | 0.344828 | 1.555556 | 0.329223 | 43.69403 | 0.067202 |
| dh / ww | 24 | 1.356667 | 1.177020 | 1.536313 | 1.260000 | 0.800000 | 2.400000 | 0.425438 | 31.35903 | 0.086842 |
| ml / ww | 24 | 1.871667 | 1.789828 | 1.953505 | 1.900000 | 1.440000 | 2.320000 | 0.193810 | 10.35494 | 0.039561 |

### Информация по распределениям характеристик.

|  |  |
| --- | --- |
| ОТ 0111.471-02 | ОТ 0111.471-03 |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

Проверка на нормальность распределения значений характеристик

K-S - критерий Колмогорова - Смирнова

S-W - критерий Шапиро - Уилко.

Принимая во внимание объем выборки (24 образца для каждой из моделей капилляра), при принятии решения о нормальности приоритет будет отдаваться значению критерия S-W.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Хар-ка | ОТ 0111.471-02 | | ОТ 0111.471-03 | |
| Значение критерия | Решение | Значение критерия | Решение |
| dh | K-S d=.13165, p> .20  Shapiro-Wilk W=.96558, p=.56019 | H0 не отвергается. Данные считаем распределенными нормально (недостаточно данных для того, чтобы отвергнуть H0). | K-S d=.17235, p> .20;  Shapiro-Wilk W=.91583, p=.04728 | H0 отвергается. Данные сформированы не из нормального распределения (уровень значимости 0.05). |
| ml | K-S d=.09822, p> .20  Shapiro-Wilk W=.97173, p=.70982 | H0 не отвергается. Данные считаем распределенными нормально (недостаточно данных для того, чтобы отвергнуть H0). | K-S d=.18911, p> .20  Shapiro-Wilk W=.89915, p=.02065 | H0 отвергается. Данные сформированы не из нормального распределения (уровень значимости 0.05). |
| dh / ml | K-S d=.07672, p> .20  Shapiro-Wilk W=.99015, p=.99655 | H0 не отвергается. Данные считаем распределенными нормально (недостаточно данных для того, чтобы отвергнуть H0). | K-S d=.24104, p<.10  Shapiro-Wilk W=.82839, p=.00089 | H0 отвергается. Данные сформированы не из нормального распределения (уровень значимости 0.05). |
| dh / ww | K-S d=.13165, p> .20  Shapiro-Wilk W=.96558, p=.56019 | H0 не отвергается. Данные считаем распределенными нормально (недостаточно данных для того, чтобы отвергнуть H0). | K-S d=.17235, p> .20  Shapiro-Wilk W=.91583, p=.04728 | H0 отвергается. Данные сформированы не из нормального распределения (уровень значимости 0.05). |
| ml / ww | K-S d=.09822, p> .20  Shapiro-Wilk W=.97173, p=.70982 | H0 не отвергается. Данные считаем распределенными нормально (недостаточно данных для того, чтобы отвергнуть H0). | K-S d=.18911, p> .20  Shapiro-Wilk W=.89915, p=.02065 | H0 отвергается. Данные сформированы не из нормального распределения (уровень значимости 0.05). |

### Взаимосвязь dh vs ml.

Анализировались не абсолютные значения dh и ml, а их относительные величины, приведенные к толщине стенки.

|  |  |
| --- | --- |
| ОТ 0111.471-02 | ОТ 0111.471-03 |
|  |  |
| Модель и коэффициент корреляции (Пирсона):  ml / ww:dh / ww: y = 2.6322 - 0.8087\*x;  r = -0.5361, p = 0.0069 | Модель и коэффициент корреляции (Пирсона):  ml / ww:dh / ww: y = 4.6338 - 1.7509\*x;  r = -0.7976, p = 0.00000 |

### Выбросы и “wierd” образцы.

В качестве инструментов для идентификации выбросов использовался boxplot.

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристика dh / ww | Характеристика ml / ww |
|  |  |

Список образцов,соответствующим выбросам:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Номер образца, характеристика dh/ww | Номер образца, характеристика ml/ww | DUT type | DUT id |
| 13 |  | ОТ 0111.471-02 | 02\_8\_1 |
| 26 | 26 | ОТ 0111.471-03 | 03\_9\_2 |
|  | 27 | ОТ 0111.471-03 | 03\_9\_3 |
|  | 32 | ОТ 0111.471-03 | 03\_10\_2 |
| 36 | 36 | ОТ 0111.471-03 | 03\_12\_3 |

### Проверка значимости различий характеристик между образцами различных моделей.

Для обнаружения наличия различий в значениях характеристик образцов (dh/ww, ml/ww) использовался anova. Результаты представлены ниже.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Effect | Multivariate Tests of Significance (OQ samples data in OQ samples)  Sigma-restricted parameterization  Effective hypothesis decomposition | | | | | |
| Test | Value | F | Effect (df) | Error (df) | p |
| Intercept | Wilks | 0.003525 | 6361.280 | 2 | 45 | 0.000000 |
| DUT type | Wilks | 0.523504 | 20.480 | 2 | 45 | 0.000000 |

Принимая во внимание полученные статистики, можно утверждать что по одной из переменных есть статистически значимое различие между образцами различных моделей (ОТ 0111.471-02, ОТ 0111.471-03).

|  |  |
| --- | --- |
| Характеристика dh/ww | Характеристика ml/ww |
|  |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Cell No. | Tukey HSD test; variable **dh / ww** (OQ samples data in OQ samples)  Approximate Probabilities for Post Hoc Tests  Error: Between MS = .13049, df = 46.000 | | |
| DUT type | {1} (1.3167) | {2} (1.3567) |
| 1 | ОТ 0111.471-02 |  | 0.703187 |
| 2 | ОТ 0111.471-03 | 0.703187 |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Cell No. | Tukey HSD test; variable **ml / ww** (OQ samples data in OQ samples)  Approximate Probabilities for Post Hoc Tests  Error: Between MS = .03636, df = 46.000 | | |
| DUT type | {1} (1.6267) | {2} (1.8717) |
| 1 | ОТ 0111.471-02 |  | 0.000168 |
| 2 | ОТ 0111.471-03 | 0.000168 |  |

Таким образом, значимое различие между образцами разных моделей реализуется за счет переменной ml/ww (p-value = 0.000168). Частично это можно объяснить различием характеристик исходного капилляра (модель 03 имеет больший на 16% диаметр, что соответствует большей “площади” теплопереноса при нагреве за счет большего сечения “тела”).

Модель 02 имеет сечение теплопереноса (считаем теплоперенос основным каналом потерь) = 1.178588 мм2 - 0.412825 мм2 = 0.7658 мм2

Модель 03 имеет сечение теплопереноса = 1.594849 мм2 - 0.672006 мм2 = 0.9228 мм2.

Т.е. Соотношение тепловых потоков составляет 0.9228 / 0.7658 = 1,205.

Соотношение медиан ml/w составляет 1.871667 / 1.626667 = 1.15

Оценка разницы площадей (как гипотеза где теряются остальные 0.05)

Площадь поверхности для модели 02 составляет S = 2 π R h = 2π·0.6125·1.626667 = 1.992667075π ≈ 6.2601

Площадь поверхности для модели 03 составляет S = 2 π R h = 2π·0.7125·1.871667 = 2.667125475π ≈ 8.3790

Соотношение площадей поверхностей = 1.338

Принимая во внимание теплопроводность воздуха (0.02 - 0.03 Вт/м·К) и кварца (6,2–8 Вт/м·К) можно утверждать, что основные теплопотери идут за счет теплопереноса в теле заготовки.

### Заключение

* Необходимо обратить внимание на разницу в распределениях переменных. Все характеристики для модели 02 распределены в соответствии с нормальным законом распределения. При этом, для модели 03 - соответствующие характеристики распределены в соответствии с законом, отличным от нормального (p-value от 0.0089 до 0.047). В предположении, что распределение характеристик должно иметь нормальное распределение в связи с большим количеством действующих факторов, влияющих на результат (ЦПТ), можно сделать вывод, что при выполнении операции предварительной оплавки модели 03 есть небольшое кол-во факторов (1 - 2), имеющих существенно большую значимость на характеристики продукта, чем остальные. Целесообразно инициировать разработку дизайна эксперимента для выявления наиболее значимых факторов и оптимизации режима работы в этом ограниченном пространстве факторов, в целях снижения разброса характеристик результата выполняемой операции. Также, данный факт приводит к необходимости рассмотреть вопрос о использовании специализированной программы настроек для предварительной оплавки использованного оборудования для каждой из модификаций продукта.
* Ожидаемая зависимость между dh и ml подтверждается. Исходное предположение - чем дольше идет воздействие при предварительном оплавлении, тем больше значение ml, и тем меньше dh (оплавленный материал стенки “стекает” к центру). Для обеих моделей предварительно оплавленной колбы, коэффициент корреляции стат.значимо отрицательный (r = -0.5361, p = 0.0069 и r = -0.7976, p = 0.00000 для моделей колбы 02 и 03 соответственно).
* Сопоставляя значения ml, а также зависимость dh/ml между различными моделями колбы, принимая во внимание идентичность использованного материала (одинаковая теплоемкость и теплопроводность), можно предположить, что время воздействия теплового излучения, на этапе предварительной оплавки, для модель 03 больше, чем для модели 02. При этом, угол наклона кривой dw/ww увеличивается, т.е. Ускоряется процесс “стекания” материала стенки в районе торца колбы при увеличении длительности воздействия. Целесообразно проанализировать динамику изменения мощности излучения при изготовлении модели 03, рассмотреть вариант уменьшения мощности со временем либо смещения точки фокуса излучения вдоль оси колбы, чтобы снизить “скорость” стекания материала стенки, тем самым уменьшить “чувствительность” к фактору оператора, который принимает решение об остановке процесса оплавления, и возможно перейти к режиму стабилизации и фиксации переменной “длительность оплавления”, т.е. В пределе - исключения влияния фактора Оператор на результат процесса. Также это может снизить разброс и привести распределение к нормальному.
* Необходимо обратить внимание на “концентрацию” т.н. “Outliers” в области образцов с номерами в диапазоне 26 - 36. В предположении что образцы были изготовлены именно в указанном в приложении 1 порядке логично предположить, что изменился либо характер работы оборудования (например, перегрев), либо сказался “переход” на изготовление другой модели, и оператор не смог перестроиться, и принимал решение об остановке процесса с учетом полученного при изготовлении модели 02 опыта. В таком случае - вклад фактор Оператор является критичным, оператору нужно время на перестройку под другую модель и это необходимо учесть при организации процесса изготовления (например первые N шт рассматривать как подозрительные, либо вообще не использовать в дальнейшем производстве). Для более детального анализа необходимо больше информации о том, в каком порядке изготавливались образцы, время воздействия, данные операторов. Имеет смысл подготовить эксперимент в т.ч. для этапа предварительной оплавки капилляра.
* Имеет смысл проверить версию работы на большей мощности источника в начале оплавления. Вариант 2 - проверить вариант предварительного нагрева заготовки капилляра по всей длине на этапе оплавления 1, и затем доведение до точки плавления в нужной области капилляра (торец). Это может позволить уменьшить разброс по характеристикам конечного продукта (предварительно оплавленная колба, целевая характеристика dh и ml).
* Для образцов, классифицированных как Outliers логично ожидать существенно отличных итоговых характеристик как конечного продукта так и процесса (длительность оплавления) по итогам операции Окончательная доплавка колбы.

Приложение 1. Данные образцов.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер образца | Исходные данные образцов и результаты измерений | | | | | | | | | |
| DUT type | DUT id | dh\_val | ml\_val | md\_val | gl\_val | dh / ml | dh / ww (!~\FT1,,,\c0,=v3 / v9) | wall width (ww) (!~\FT1,,,\c0,Wall width) | ml / ww (!~\FT1,,,=v4 / v9) |
| 1 | ОТ 0111.471-02 | 02\_6\_1 | 0.3 | 0.41 | 1.19 |  | 0.731707317 | 1.2 | 0.25 | 1.64 |
| 2 | ОТ 0111.471-02 | 02\_6\_2 | 0.32 | 0.4 | 1.2 |  | 0.8 | 1.28 | 0.25 | 1.6 |
| 3 | ОТ 0111.471-02 | 02\_6\_3 | 0.35 | 0.35 | 1.2 |  | 1 | 1.4 | 0.25 | 1.4 |
| 4 | ОТ 0111.471-02 | 02\_2\_1 | 0.44 | 0.33 | 1.2 |  | 1.333333333 | 1.76 | 0.25 | 1.32 |
| 5 | ОТ 0111.471-02 | 02\_2\_2 | 0.33 | 0.43 | 1.2 |  | 0.76744186 | 1.32 | 0.25 | 1.72 |
| 6 | ОТ 0111.471-02 | 02\_2\_3 | 0.3 | 0.45 | 1.2 |  | 0.666666667 | 1.2 | 0.25 | 1.8 |
| 7 | ОТ 0111.471-02 | 02\_3\_1 | 0.34 | 0.39 | 1.19 |  | 0.871794872 | 1.36 | 0.25 | 1.56 |
| 8 | ОТ 0111.471-02 | 02\_3\_2 | 0.23 | 0.47 | 1.2 |  | 0.489361702 | 0.92 | 0.25 | 1.88 |
| 9 | ОТ 0111.471-02 | 02\_3\_3 | 0.3 | 0.45 | 1.18 |  | 0.666666667 | 1.2 | 0.25 | 1.8 |
| 10 | ОТ 0111.471-02 | 02\_7\_1 | 0.44 | 0.45 | 1.18 |  | 0.977777778 | 1.76 | 0.25 | 1.8 |
| 11 | ОТ 0111.471-02 | 02\_7\_2 | 0.22 | 0.5 | 1.18 |  | 0.44 | 0.88 | 0.25 | 2 |
| 12 | ОТ 0111.471-02 | 02\_7\_3 | 0.32 | 0.38 | 1.2 |  | 0.842105263 | 1.28 | 0.25 | 1.52 |
| 13 | ОТ 0111.471-02 | 02\_8\_1 | 0.17 | 0.48 | 1.2 |  | 0.354166667 | 0.68 | 0.25 | 1.92 |
| 14 | ОТ 0111.471-02 | 02\_8\_2 | 0.4 | 0.34 | 1.18 |  | 1.176470588 | 1.6 | 0.25 | 1.36 |
| 15 | ОТ 0111.471-02 | 02\_8\_3 | 0.37 | 0.37 | 1.2 |  | 1 | 1.48 | 0.25 | 1.48 |
| 16 | ОТ 0111.471-02 | 02\_4\_1 | 0.3 | 0.44 | 1.19 |  | 0.681818182 | 1.2 | 0.25 | 1.76 |
| 17 | ОТ 0111.471-02 | 02\_4\_2 | 0.46 | 0.42 | 1.2 |  | 1.095238095 | 1.84 | 0.25 | 1.68 |
| 18 | ОТ 0111.471-02 | 02\_4\_3 | 0.36 | 0.38 | 1.19 |  | 0.947368421 | 1.44 | 0.25 | 1.52 |
| 19 | ОТ 0111.471-02 | 02\_1\_1 | 0.28 | 0.44 | 1.2 |  | 0.636363636 | 1.12 | 0.25 | 1.76 |
| 20 | ОТ 0111.471-02 | 02\_1\_2 | 0.32 | 0.36 | 1.19 |  | 0.888888889 | 1.28 | 0.25 | 1.44 |
| 21 | ОТ 0111.471-02 | 02\_1\_3 | 0.28 | 0.34 | 1.18 |  | 0.823529412 | 1.12 | 0.25 | 1.36 |
| 22 | ОТ 0111.471-02 | 02\_5\_1 | 0.42 | 0.39 | 1.19 |  | 1.076923077 | 1.68 | 0.25 | 1.56 |
| 23 | ОТ 0111.471-02 | 02\_5\_2 | 0.3 | 0.39 | 1.2 |  | 0.769230769 | 1.2 | 0.25 | 1.56 |
| 24 | ОТ 0111.471-02 | 02\_5\_3 | 0.35 | 0.4 | 1.2 |  | 0.875 | 1.4 | 0.25 | 1.6 |
| 25 | ОТ 0111.471-03 | 03\_9\_1 | 0.3 | 0.48 | 1.4 |  | 0.625 | 1.2 | 0.25 | 1.92 |
| 26 | ОТ 0111.471-03 | 03\_9\_2 | 0.56 | 0.36 | 1.4 |  | 1.555555556 | 2.24 | 0.25 | 1.44 |
| 27 | ОТ 0111.471-03 | 03\_9\_3 | 0.2 | 0.58 | 1.4 |  | 0.344827586 | 0.8 | 0.25 | 2.32 |
| 28 | ОТ 0111.471-03 | 03\_16\_1 | 0.35 | 0.46 | 1.4 |  | 0.760869565 | 1.4 | 0.25 | 1.84 |
| 29 | ОТ 0111.471-03 | 03\_16\_2 | 0.33 | 0.5 | 1.4 |  | 0.66 | 1.32 | 0.25 | 2 |
| 30 | ОТ 0111.471-03 | 03\_16\_3 | 0.35 | 0.48 | 1.4 |  | 0.729166667 | 1.4 | 0.25 | 1.92 |
| 31 | ОТ 0111.471-03 | 03\_10\_1 | 0.33 | 0.54 | 1.4 |  | 0.611111111 | 1.32 | 0.25 | 2.16 |
| 32 | ОТ 0111.471-03 | 03\_10\_2 | 0.5 | 0.36 | 1.4 |  | 1.388888889 | 2 | 0.25 | 1.44 |
| 33 | ОТ 0111.471-03 | 03\_10\_3 | 0.4 | 0.45 | 1.4 |  | 0.888888889 | 1.6 | 0.25 | 1.8 |
| 34 | ОТ 0111.471-03 | 03\_12\_1 | 0.27 | 0.47 | 1.4 |  | 0.574468085 | 1.08 | 0.25 | 1.88 |
| 35 | ОТ 0111.471-03 | 03\_12\_2 | 0.28 | 0.49 | 1.4 |  | 0.571428571 | 1.12 | 0.25 | 1.96 |
| 36 | ОТ 0111.471-03 | 03\_12\_3 | 0.6 | 0.39 | 1.4 |  | 1.538461538 | 2.4 | 0.25 | 1.56 |
| 37 | ОТ 0111.471-03 | 03\_14\_1 | 0.2 | 0.5 | 1.4 |  | 0.4 | 0.8 | 0.25 | 2 |
| 38 | ОТ 0111.471-03 | 03\_14\_2 | 0.32 | 0.49 | 1.4 |  | 0.653061224 | 1.28 | 0.25 | 1.96 |
| 39 | ОТ 0111.471-03 | 03\_14\_3 | 0.22 | 0.48 | 1.4 |  | 0.458333333 | 0.88 | 0.25 | 1.92 |
| 40 | ОТ 0111.471-03 | 03\_13\_1 | 0.3 | 0.47 | 1.4 |  | 0.638297872 | 1.2 | 0.25 | 1.88 |
| 41 | ОТ 0111.471-03 | 03\_13\_2 | 0.36 | 0.49 | 1.4 |  | 0.734693878 | 1.44 | 0.25 | 1.96 |
| 42 | ОТ 0111.471-03 | 03\_13\_3 | 0.31 | 0.46 | 1.4 |  | 0.673913043 | 1.24 | 0.25 | 1.84 |
| 43 | ОТ 0111.471-03 | 03\_15\_1 | 0.29 | 0.47 | 1.4 |  | 0.617021277 | 1.16 | 0.25 | 1.88 |
| 44 | ОТ 0111.471-03 | 03\_15\_2 | 0.23 | 0.48 | 1.4 |  | 0.479166667 | 0.92 | 0.25 | 1.92 |
| 45 | ОТ 0111.471-03 | 03\_15\_3 | 0.31 | 0.45 | 1.4 |  | 0.688888889 | 1.24 | 0.25 | 1.8 |
| 46 | ОТ 0111.471-03 | 03\_11\_1 | 0.24 | 0.49 | 1.4 |  | 0.489795918 | 0.96 | 0.25 | 1.96 |
| 47 | ОТ 0111.471-03 | 03\_11\_2 | 0.45 | 0.46 | 1.4 |  | 0.97826087 | 1.8 | 0.25 | 1.84 |
| 48 | ОТ 0111.471-03 | 03\_11\_3 | 0.44 | 0.43 | 1.4 |  | 1.023255814 | 1.76 | 0.25 | 1.72 |