Обзор данных по итогам выполнения работ по доплавке колб, на этапе OQ.

Были изготовлены 48 образцов продукции, по итогам изготовления образцов проведены измерения основных характеристик.

Целью работ было в том числе подбор параметров работы оборудования. Целевыми переменными были:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| MAES | Внешний размер в области оплавления. | Результаты измерения, мм | Melted Area External Size |
| MAHS | Статус заплавления сквозного отверстия в зоне оплавления | 1 / Closed – отверстие заплавлено  0 / Open – наличие сквозного отверстия | Melted Area Hole Status  В базе фиксируем значение 1 / 0. В протоколах допускается использовать Aliases (closed / open). |
| MAWT | Минимальная толщина стенки заплавленного торца. | При наличии сквозного отверстия (MAHS = 0), указывается значение -1.  При заплавленном отверстии (MAHS = 1) – результат измерений, в мм. | Melted Area Wall Thickness |
| PCS | Статус соответствия продукции требованиям | 1 – Соответствует  0 – Не соответствует | Product Conformity Status |
| FMOP | Предпочтение со стороны оператора, выполняющего операцию итоговой доплавки. | 1 – Оператору было комфортно выполнять операцию  0 – Оператор не отметил комфорт выполнения операции | Final Melting Operator’s Prefer |

Ниже представлена обзорная информация по каждой из целевых переменных, а также модели, отражающие значимость управляемых факторов (характеристики предварительно оплавленного капиляра, параметры работы оборудования).

По итогам обзора полученных результатов, а также обсуждения особенностей производственного процесса, сделаны следующие предположения \ решения:

1. Не учитывать переменную LT\_F. Данная переменная определяет время работы источника лазерного излучения. В нашем сценарии, когда длительность процесса запаивания определяется оператором, целесообразно установить значение данной переменной на уровне 8000ms. Соответственно, из списка факторов переменная исключена, т.е. не проводится оценка значимости (т.к. процесс останавливался оператором).
2. Переменная OR\_F вообще не влияет. Опять же, увитывая особенности реализации процесса доплавки (процесс останавливается по нажатию оператором кнопки Reset), данная переменная никак фактически не влияет, т.е. не реализуется в реальном процессе доплавки.

Из всех целевых характеристик, 2 характеристики являются количественными, остальные качественными. Базовые статистики приведены для количественных характеристик MAWT и MAES.

Проверка значимости факторов настройки оборудования.

Проверка проводилась в виде ранжирования эффектов по итогам непосредственных вычислений, а также дублировалась проведением регрессионного анализа.

Задачи:

1. Проранжировать факторы, в целях уменьшения пространства переменных для оптимизации
2. Проверить наличие взаимодействия между факторами
3. Проверить целесообразность проведения задачи по оптимизации для различных типов изделий (02 / 03)

Непосредственная оценка значимости переменных параметров работы оборудования для целевых переменных FMOP, FMPR.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Переменная | 02 | | | 03 | | |
| MAWT | FMOP | FMPR | MAWT | FMOP | FMPR |
| LP | 0,093 | 0,250 | 0,417 | 0,225 | -0,500 | -0,458 |
| LT\_S | -0,088 | 0,250 | 0,583 | 0,007 | 0,000 | 0,458 |
| RS | 0,122 | 0,250 | 0,250 | -0,003 | 0,000 | 0,375 |
| LP\*LT\_S | 0,122 | 0,250 | 0,250 | -0,003 | 0,000 | 0,375 |
| LP\*RS | -0,088 | 0,250 | 0,583 | 0,007 | 0,000 | 0,458 |

**Для изделий модели 02** (ОТ 0111.471-02) значимые факторы для целевой переменной FMPR (в порядке снижения значимости: LT\_S, LP\*RS, LP. Целесообразно провести проверку доли годных изделий, пропорционально увеличив указанные переменные LP, LT\_S и RS. Целевая переменная будет FMPR и доля годных изделий.

**Для изделий же 03** (ОТ 0111.471-03) значимые факторы для целевой переменной FMPR (в порядке снижения значимости: LP, LT\_S ,LP\*RS. При этом коэффициент переменной LP имеет отрицательный знак, т.е. целесообразно работать на меньшей мощности. Соответственно, для увеличения FMPR целесообразно оценить FMPR и доля годных изделий для следующих условий: LP – уменьшаем, LS\_S – увеличиваем, RS – уменьшаем.

Из существенного (но не очевидного, и требующего подтверждения), для модификации 02 – надо работать на бОльшей мощности лазера, чем для модификации 03. Очевидно надо разделять программы для 2-х указанных модификаций конечной продукции.

Модель FMOP для продукции 02

Проверка корреляции признаков:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Variable | Correlations (Aggregated-1 in Val\_2\_samples\_dataset\_processing) Include condition: Contains("DUT id", "02\_") | | | | | |
| dh | ml | LP\_n | LT\_S\_n | RS\_n | FMOP |
| dh | 1.000000 | -0.536121 | 0.180592 | -0.048158 | 0.072237 | -0.086459 |
| ml | -0.536121 | 1.000000 | -0.145287 | 0.345056 | -0.236091 | -0.082370 |
| LP\_n | 0.180592 | -0.145287 | 1.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.377964 |
| LT\_S\_n | -0.048158 | 0.345056 | 0.000000 | 1.000000 | 0.000000 | 0.377964 |
| RS\_n | 0.072237 | -0.236091 | 0.000000 | 0.000000 | 1.000000 | 0.377964 |
| FMOP | -0.086459 | -0.082370 | 0.377964 | 0.377964 | 0.377964 | 1.000000 |

Значимо скоррелированных признаков (>0.7) нет, соответственно все перечисленные признаки используем для построения модели.

Модель регрессии для целевой переменной FMOP:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N=24 | Regression Summary for Dependent Variable: FMOP (Aggregated-1 in Val\_2\_samples\_dataset\_processing) R= .70435143 R?= .49611093 Adjusted R?= .35614175 F(5,18)=3.5444 p<.02092 Std.Error of estimate: .27108 Include condition: Contains("DUT id", "02\_") | | | | | |
| b\* | Std.Err. (of b\*) | b | Std.Err. (of b) | t(18) | p-value |
| Intercept |  |  | 1.37327 | 0.868473 | 1.58125 | 0.131233 |
| dh | -0.301658 | 0.203224 | -1.44133 | 0.971005 | -1.48436 | 0.155013 |
| ml | -0.264019 | 0.222036 | -1.90287 | 1.600292 | -1.18908 | 0.249859 |
| LP\_n | 0.394083 | 0.170581 | 0.13033 | 0.056414 | 2.31024 | 0.032938 |
| LT\_S\_n | 0.454538 | 0.182062 | 0.15032 | 0.060211 | 2.49661 | 0.022466 |
| RS\_n | 0.337423 | 0.173560 | 0.11159 | 0.057399 | 1.94413 | 0.067679 |

Принимая во внимание полученные уровни значимости и соответствующие p-value, корректируем список параметров модели, удалив переменную ml из списка переменных (наименьший b, наибольший p-value). Модель 2 после удаления переменной ml:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N=24 | Regression Summary for Dependent Variable: FMOP (Aggregated-1 in Val\_2\_samples\_dataset\_processing) R= .67567017 R?= .45653018 Adjusted R?= .34211548 F(4,19)=3.9901 p<.01627 Std.Error of estimate: .27402 Include condition: Contains("DUT id", "02\_") | | | | | |
| b\* | Std.Err. (of b\*) | b | Std.Err. (of b) | t(19) | p-value |
| Intercept |  |  | 0.393423 | 0.277203 | 1.419260 | 0.172022 |
| dh | -0.170670 | 0.172627 | -0.815464 | 0.824815 | -0.988662 | 0.335253 |
| LP\_n | 0.408786 | 0.171975 | 0.135193 | 0.056876 | 2.377002 | 0.028116 |
| LT\_S\_n | 0.369745 | 0.169330 | 0.122282 | 0.056001 | 2.183573 | 0.041739 |
| RS\_n | 0.390293 | 0.169585 | 0.129077 | 0.056085 | 2.301456 | 0.032854 |

Отказываться от dh не хочется, т.к. переменная точно влияет на результат. Останавливаемся на данной модели.

Рейтинг переменных, влияющих на FMOP для продукции типа 02: LP (0.408786), RS(0.39), LT(0.37), dh (-0.17).

Итоговая модель: FMOP = 0.39 – 0.17 dh + 0.41 LP + 0.37 LT + 0.39 RS

Соответственно, дальнейшая оптимизация целесообразна в направлении: уменьшение dh (определить требования к максимальному диаметру отверстия на этапе предоплавки), увеличение значений переменных LP, LT, RS.

Модель FMOP для продукции 03

Коэффициенты корреляции признаков:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Variable | Correlations (Aggregated-1 in Val\_2\_samples\_dataset\_processing) Include condition: Contains("DUT id", "03\_") | | | | | | |
| LP\_n | LT\_S\_n | RS\_n | FMPT\_0 | dh | ml | FMOP |
| LP\_n | 1.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.185024 | 0.064029 | -0.008784 | -0.577350 |
| LT\_S\_n | 0.000000 | 1.000000 | 0.000000 | 0.017666 | 0.056025 | -0.079060 | 0.000000 |
| RS\_n | 0.000000 | 0.000000 | 1.000000 | 0.170148 | 0.112050 | 0.026353 | 0.000000 |
| FMPT\_0 | 0.185024 | 0.017666 | 0.170148 | 1.000000 | 0.329829 | -0.094392 | -0.257129 |
| dh | 0.064029 | 0.056025 | 0.112050 | 0.329829 | 1.000000 | -0.797634 | -0.217181 |
| ml | -0.008784 | -0.079060 | 0.026353 | -0.094392 | -0.797634 | 1.000000 | 0.025359 |
| FMOP | -0.577350 | 0.000000 | 0.000000 | -0.257129 | -0.217181 | 0.025359 | 1.000000 |

Есть существенная корреляция между признаками dh и ml, из дальнейшей обработки исключим признак ml.

Получаемая модель:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N=24 | Regression Summary for Dependent Variable: FMOP (Aggregated-1 in Val\_2\_samples\_dataset\_processing) R= .60536457 R?= .36646626 Adjusted R?= .23309073 F(4,19)=2.7476 p<.05864 Std.Error of estimate: .38736 Include condition: Contains("DUT id", "03\_") | | | | | |
| b\* | Std.Err. (of b\*) | b | Std.Err. (of b) | t(19) | p-value |
| Intercept |  |  | 0.509329 | 0.271904 | 1.87320 | 0.076509 |
| LP\_n | -0.565578 | 0.182985 | -0.244903 | 0.079235 | -3.09085 | 0.006017 |
| LT\_S\_n | 0.010300 | 0.182895 | 0.004460 | 0.079196 | 0.05632 | 0.955676 |
| RS\_n | 0.020601 | 0.183769 | 0.008920 | 0.079574 | 0.11210 | 0.911919 |
| dh | -0.183853 | 0.184438 | -0.764606 | 0.767036 | -0.99683 | 0.331373 |

Наиболее значимым фактором является LP, причем знак отрицательный, т.е. уменьшение значения LP приводит к увеличению значения FMOP. Далее по значимости (величина) идет фактор dh также с отрицателным знаком, т.е. чем меньше начальный диаметр – тем выше значение FMOP.

Удалим из модели LT и RS как незначащие факторы. Итоговая модель:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N=24 | Regression Summary for Dependent Variable: FMOP (Aggregated-1 in Val\_2\_samples\_dataset\_processing) R= .60493316 R?= .36594413 Adjusted R?= .30555785 F(2,21)=6.0601 p<.00836 Std.Error of estimate: .36860 Include condition: Contains("DUT id", "03\_") | | | | | |
| b\* | Std.Err. (of b\*) | b | Std.Err. (of b) | t(21) | p-value |
| Intercept |  |  | 0.505242 | 0.256865 | 1.96695 | 0.062541 |
| LP\_n | -0.565764 | 0.174119 | -0.244983 | 0.075396 | -3.24929 | 0.003838 |
| dh | -0.180956 | 0.174119 | -0.752557 | 0.724124 | -1.03927 | 0.310500 |

Формально, список факторов по значимости: LP, dh. Но низкое значение R2 (0.36) говорит о том, что модель плохо описывает данные –(

Модель FMPR для продукции 02