

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЛИТЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Татьяна Игоревна Сивурова

Студент 4 курса,

кафедра «Литейные технологии»,

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: В.А. Рыбкин,

доктор технических наук, профессор кафедры «Литейные технологии»

Количество опытов для каждого уровня матрицы планирования равнялась пяти, количество серий опытов на нулевом уровне — трем. Вид матрицы планирования и результаты исследований представлены на рис. 2.

Влияние Zn в матрице закодировано под номером $X_{УТл}$ — соответственно X_{-} , Nd — X_3 . совместное влияние элементов Zn 2л — X_p , Zn Nd — $X_{п}$, ZT Nd - X_{23} , Zn Zr Nd - X_m .

Результаты расчета погрешности эксперимента (анализ ой) дали значения дисперсии воспроизведения $6'$ — 0,11, что при величине критического значения критерия Кохрена $6^* = 0,331$ для доверительной вероятности 0,95 является целиком удовлетворительным результатом.

Значение коэффициентов регрессии в результате расчета были получены такие: $B_0 = 252,964$; $Y_{-} = -3,15$; $B_2 = -16,3$; $B_3 = -5,1$; $B_v = -0,15$; $B_i = -0,25$; $Y_{23} = 0$; $B_t = 0,65$. Анализируя уровень влияния коэффициентов с помощью критерия Стьюдента, было определено, что критическое значение критерия Стьюдента равняется 2,014, поэтому значащими для уравнения регрессии будут лишь коэффициенты $B^{\wedge}$. B_{-} , и B_y . Окончательный вид уравнения регрессии (1), которое описывает влияние исследуемых химических элементов на предел прочности сплава Мл-10, имеет следующий вид:

$$\sigma_{-} = 252,964 - 3,15 X_{г} - 16,3 X_{л} - 5,1 X_3 \pm 0,11 \text{ (МПа)}. (I)$$

Анализ полученной математической модели показывает, что повышение содержания каждого из химических элементов отрицательно влияет на уровень предела прочности сплава МЛ-10, но самое заметное влияние имеют добавки неодима. Совместное влияние содержания элементов на значение предела прочности практически не влияет.

Аналогичная модель была построена для изучения влияния химического состава на относительное удлинение сплава Мл-10. Вид матрицы планирования и результаты исследований приведены на рис. 3.

Погрешность эксперимента составила 0,13% для доверительной вероятности 0,95. При критическом значении критерия Кохрена $6^* = 0,331$ эту погрешность можно считать вполне допустимой. Значения коэффициентов регрессии были получены такие: $Y_0 = 5,13$; $B_i = 0,219$; $B_2 = 0,649$; $B_3 = 0,284$; $B_v = 0,026$; $B_i = 0,021$; $B_{>3} = -0,019$; $Y_{pз} = 0,004$. Так, введение каждого из рассмотренных компонентов приводило к увеличению относительного удлинения, особенно заметно было влияние циркония, несколько меньшим — цинка и неодима. Совместное влияние указанных элементов на порядок слабее, чем их отдельное влияние. В то же время, совместное влияние циркония и неодима вообще носит слабый негативный характер. Однако, анализ значимости полученных коэффициентов с помощью критерия Стьюдента показал, что

большими по критическому значению есть только коэффициенты β_j , β_i и β_v . Уравнение регрессии принимает вид:

$$\sigma = 5,13 + 0,219 \cdot X_1 + 0,649 \cdot X_2 + 0,284 \cdot X_3 \pm 0,13(\%). \quad (2)$$

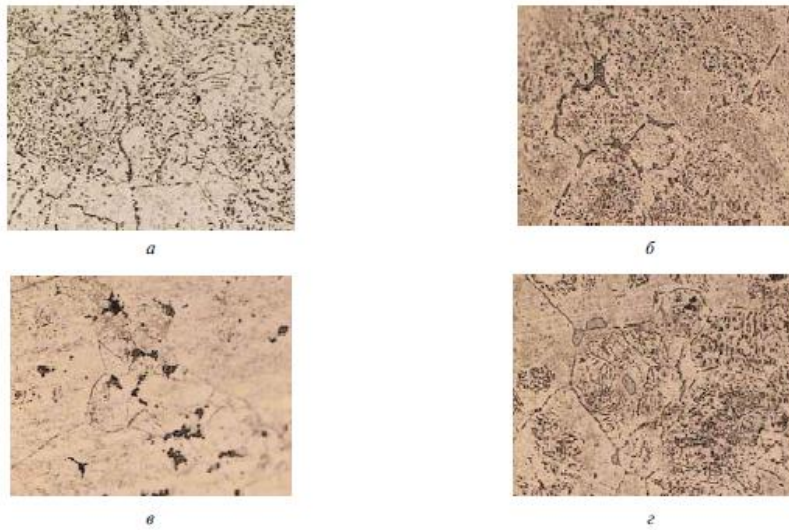


Рис. 1. Микроструктуры термообработанного сплава Мл-10 с граничными содержаниями элементов $\times 500$:

а — 0,12% Zn, 2,3% Nd, 0,4% Zr; б — 0,66% Zn, 2,3% Nd, 0,4% Zr;
в — 0,12% Zn, 2,3% Nd, 1,0% Zr; г — 0,12% Zn, 2,8% Nd, 0,4% Zr

Количество опытов для каждого уровня матрицы планирования равнялась пяти, количество серий опытов на нулевом уровне — трем. Вид матрицы планирования и результаты исследований представлены на рис. 2.

Влияние Zn в матрице закодировано под номером X_{YTL} — соответственно X_{-} , Nd — X_3 . совместное влияние элементов Zn 2л — X_p , Zn Nd — $X_{п}$, Zr Nd — X_{23} , Zn Zr Nd — X_m .

Результаты расчета погрешности эксперимента (анализ ой) дали значения дисперсии воспроизведения σ^2 — 0,11, что при величине критического значения критерия Кохрена $F_{0,95} = 0,331$ для доверительной вероятности 0,95 является целиком удовлетворительным результатом.

Значение коэффициентов регрессии в результате расчета были получены такие: $B_0 = 252,964$; $\beta_1 = -3,15$; $\beta_2 = -16,3$; $\beta_3 = -5,1$; $\beta_v = -0,15$; $\beta_i = -0,25$; $\beta_{23} = 0$; $\beta_t = 0,65$. Анализируя уровень влияния коэффициентов с помощью критерия Стьюдента, было определено, что критическое значение критерия Стьюдента равняется 2,014, поэтому значащими для уравнения регрессии будут лишь коэффициенты β_1 , β_2 , и β_v . Окончательный вид уравнения регрессии (1), которое описывает влияние исследуемых химических элементов на предел прочности сплава Мл-10, имеет следующий вид:

$$\sigma_{0,9} = 252,964 - 3,15 \cdot X_1 - 16,3 \cdot X_2 - 5,1 \cdot X_3 \pm 0,11 \text{ (МПа)}. \quad (I)$$

Анализ полученной математической модели показывает, что повышение содержания каждого из химических элементов отрицательно влияет на уровень предела прочности сплава МЛ-10, но самое заметное влияние имеют добавки неодима. Совместное влияние содержания элементов на значение предела прочности практически не влияет.

Аналогичная модель была построена для изучения влияния химического состава на относительное удлинение сплава Мл-10. Вид матрицы планирования и результаты исследований приведены на рис. 3.

Погрешность эксперимента составила 0,13% для доверительной вероятности 0,95. При критическом значении критерия Кохрена $\chi^2_{0,95} = 0,331$ эту погрешность можно считать вполне допустимой. Значения коэффициентов регрессии были получены такие: $Y_0 = 5,13$; $B_1 = 0,219$; $B_2 = 0,649$; $B_3 = 0,284$; $B_{12} = 0,026$; $B_{13} = 0,021$; $B_{23} = -0,019$; $\epsilon_{\text{рз}} = 0,004$. Так, введение каждого из рассмотренных компонентов приводило к увеличению относительного удлинения, особенно заметно было влияние циркония, несколько меньшим — цинка и неодима. Совместное влияние указанных элементов на порядок слабее, чем их отдельное влияние. В то же время, совместное влияние циркония и неодима вообще носит слабый негативный характер. Однако, анализ значимости полученных коэффициентов с помощью критерия Стьюдента показал, что большими по критическому значению есть только коэффициенты B_1 и B_2 . Уравнение регрессии принимает вид:

$$Y = 5,13 + 0,219X_1 + 0,649X_2 + 0,284X_3 \pm 0,13(\%). \quad (2)$$

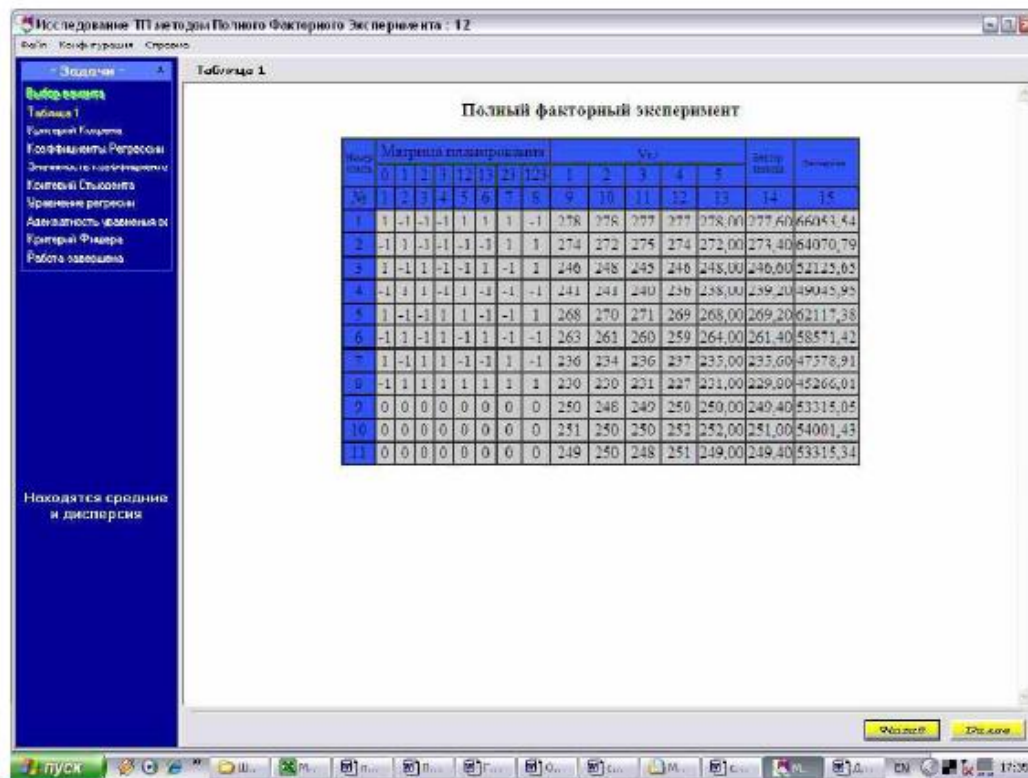


Рис. 2. Матрица планирования и результаты исследований по анализу предела прочности сплава Мл-10 в среде «Исследование ТП методом ПФЭ»

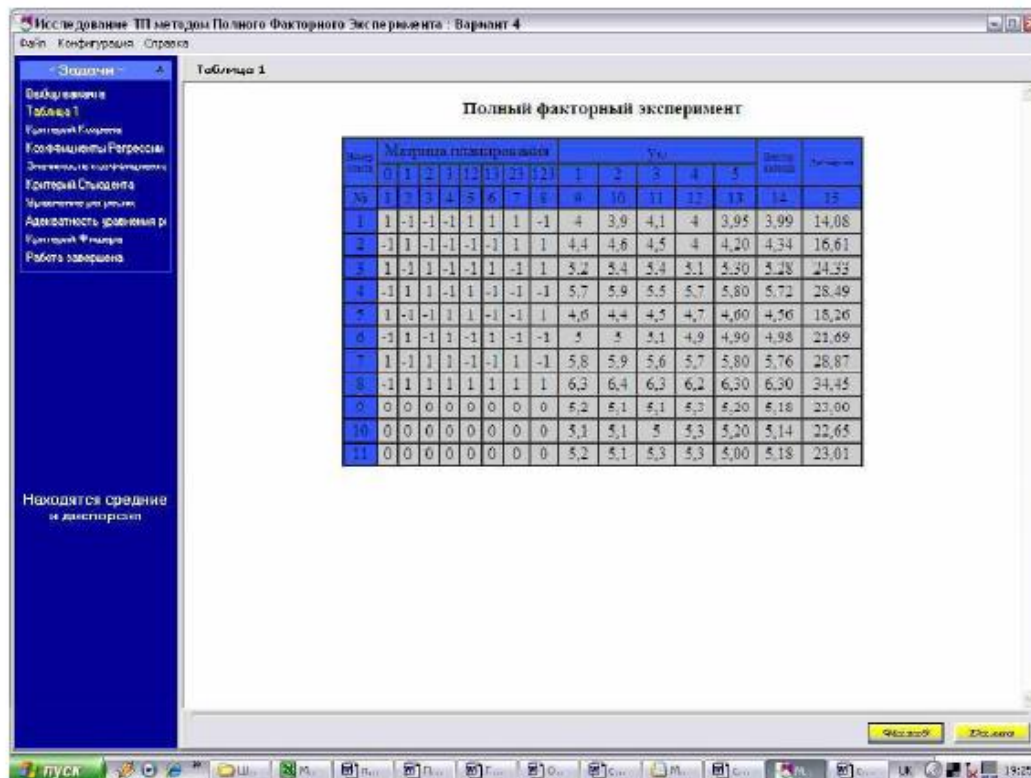


Рис. 3. Матрица планирования и результаты исследований по анализу относительного удлинения сплава Мл-10 в среде «Исследование ТП методом ПФЭ»

При фиксации содержания одного из элементов на оптимальном уровне ($Zn = 0,2\%$, $Zr = 0,98\%$) графики зависимостей механических свойств от химического состава сплава Мл-10 приобретают вид, представленный на рис. 4 {а, б).

Ц

1*ис. 4. Зависимость предела прочности сплава Мл -10 от содержания элементов а - Zr, Nd при фиксированном значении $Zn = 0,2\%$; б — Zr, Zn при фиксированном значении $Nd = 0,98\%$

Используя полученные математические зависимости можно найти оптимальные значения химического состава сплава, которые обеспечивают высокие показатели предела прочности и относительного удлинения. Эта задача относится к категории многомерной условной оптимизации и с математической точки зрения является достаточно сложной. Однако, в настоящее время существует большое количество программных средств, которые позволяют решать подобные задачи.

Принимая во внимание линейный характер зависимостей, в исследовании использовано специальное программное средство «Многомерная условная оптимизация. Кроме приведенных выше целевых функций, для расчета введены такие ограничения по содержанию химических элементов и свойств сплава:

$$0,7\% > Zn > 0,1\%; 1,0\% > Zr > 0,4\%; 2,8\% > Nd > 2,2\%; < T_{ff} > 226 \text{ МПа}; \delta > 3\%.$$

Рабочее окно программы, которое отображает результаты оптимизации химического состава сплава Мл-10, показано на рис. 5.

Поскольку программное средство находит оптимальное значение для нескольких функциональных $f(x, y, z)$ виси мосте и одновременно, сообщая целевая функция при расчетах приобретает вид:

$$F(x, y, z) = 2,306 - 0,338x - 0,16y - 0,146z + 0,024x^2 - 3,513 \cdot 10^{-3} x^2, \quad (3)$$

где x, y, z , соответственно, содержание Zn, Zr, Nd. По результатам выполнения многомерной условной оптимизации получены результаты, которые позволяют констатировать, что максимальное значение функции $F(x, y, z)$ равняется 1,83, что отвечает содержанием химических элементов в сплаве Мл-10:

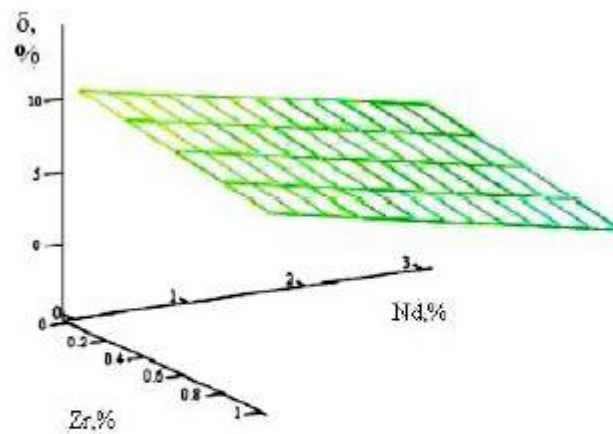
$Zn = 0,2\%$; $Zr = 0,46\%$;

$Nd = 2,3\%$.

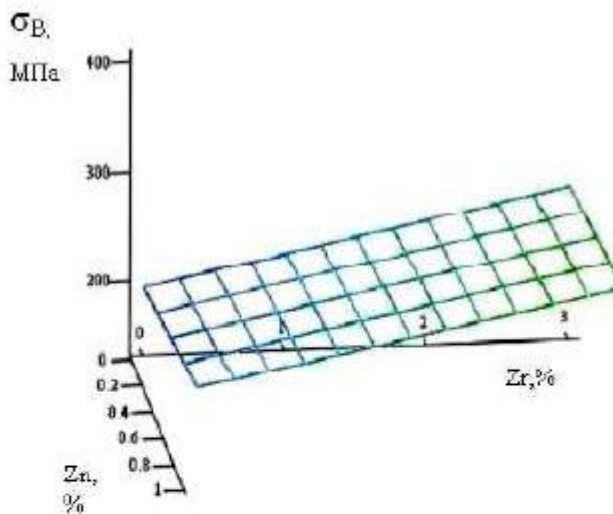
При таком составе механические свойства сплава Мл-10 имеют показатели: $\sigma_{0.2} > 231 \text{ МПа}$; $\delta > 6,25\%$, что гораздо выше требований ГОСТ 2856-79.

Выводы

1. Установлено, что в пределах марочного состава структура и механические свойства сплава Мл-10 могут значительно отличаться.
2. Проведенным математическим планированием эксперимента по плану 23 с использованием специализированной программы «Исследование ТП методом ПФЭ», разработанной в среде Delphi 7, получены функциональные зависимости влияния Zr, Nd, Zn на прочность и пластичность магн левого сплава Мл-10.
3. Специальным программным средством «Многомерная условная оптимизация» проведена оптимизация химического состава сплава Мл-10. Установлено, что оптимальное сочетание прочности и пластичности исследуемого сплава обеспечивается при содержании элементов: $Zr = 0,46\%$; $Nd = 2,3\%$; $Zn = 0,2\%$.



а



б

Рис. 4. Зависимость предела прочности сплава Мл -10 от содержания элементов

а – Zr, Nd при фиксированном значении Zn = 0,2%;
б – Zr, Zn при фиксированном значении Nd = 0,98%

Литература

1. Рейнор Г. В. Металловедение магния и его сплавов/ Г. В. Рейнор. — М.: Металлургия. — 1964.-486 с.
2. Самарский А. А. Математическое моделирование/А АСамарский, А П. Михайлоа — М.: Физматлит. -2001. -256 с.
3. Таха Х А Введение в исследование операций / Х. АТаха. - М.: Вильяме. - 2005. - 311 с.
4. Лотов А В. Конспект лекций по теории и методам многокритериальной оптимизации / Л В. Лотов. П. П. Пospelova //Вестник MIV. ~ М., 2006.-314с.