



## КНИГА V

# Литьё цветных металлов

(перевод с немецкого)



Учебный курс MAGMAnonferrous (цветные сплавы)

Аахен, Mai 2013



Настоящий учебный материал предусмотрен программой обучения компанией MAGMA GmbH. Настоящий документ не может быть воспроизведён ни в какой форме как частично, так и полностью без письменного разрешения компании MAGMA GmbH. Логотипы MAGMASOFT® является защищённом на международном уровне товарный знак компании MAGMA GmbH. Логотипы MAGMA und MAGMA<sup>5</sup> sowie MAGMAiron, MAGMAdisa, MAGMAipdc, MAGMAhpdc и подобные им обозначения являются товарными знаками компании MAGMA GmbH. Все иные упомянутые в настоящем документе названия продуктов могут члваться обозначением продукта и/или товарным знаком соответствующего предприятия.

Авторское право: © MAGMA GmbH 1989-2020. Все авторские права защищены.

**MAGMA Gießereitechnologie GmbH**

**Kackertstraße 11**

**52072 Aachen**

**Deutschland**

**Tel.: +49 / 241 / 88 90 1- 0**

**Fax: +49 / 241 / 88 90 1- 60**

**Internet: [www.magmasoft.de](http://www.magmasoft.de)**

**E-Mail: [mail@magmasoft.de](mailto:mail@magmasoft.de)**



## Оглавление

1	Введение.....	4
2	Описание модели .....	4
3	Применение .....	5
3.1	Химический состав.....	5
3.2	Запуск расчётов ‘Consider Microstructure Aluminum’ .....	7
3.2.1	Процессы в постоянной форме .....	8
3.3	Настройка параметров ,Optimal Quality‘ .....	8
3.4	Вывод результатов .....	10
4	Результаты .....	11
4.1	Структурные свойства .....	11
4.2	Механические свойства .....	12
5	Примечания .....	13
6	Дополнительные возможности .....	13
6.1	Расчёт локальных fs-кривых как функции температуры.....	13
6.2	Расчёт локальных температур кристаллизации.....	16
7	Перечень иллюстраций.....	19
8	Kontakt.....	20



## 1 Введение

MAGMA<sup>nonferrous</sup>® является дополнительным модулем MAGMA<sup>5</sup> Для гравитационного литья и литья под низким давлением и позволяет моделировать структуру и механические свойства алюминиевых сплавов.

## 2 Описание модели

Успех прогнозирования структуры и механических свойств зависит не только от условий литейного процесса и условий затвердевания, но и от состава сплава и обработки расплава (очистки и мелкозернистости).

Исходя из заданного химического состава используются фазовые диаграммы с целью оценки необходимой фазы. Динамика текущих фаз и зейгирование в локальных участках затвердевания определяют структуру сплава. Термофизические данные (доля твёрдой фазы, плотность, теплопроводность, теплоёмкость, скрытая теплота, температура плавления и кристаллизации) рассчитываются локально на основании показателей затвердевания (при затвердевании). Расчёты выполняются для каждого элемента сетки в каждый момент времени.

Модель используется только для доэвтектических и эвтектических сплавов. Процентное содержание соответствующих элементов сплава должно быть следующим:

6.5% <	Si	< 12.5%
	Fe	< 0.6%
	Mg	< 0.5%
	Cu	< 3.5%
	Mn	< 0.4%



### 3 Применение

#### 3.1 Химический состав

Химический состав – информация из базы данных, необходимая для расчёта процесса затвердевания. Термофизические показатели из базы данных используются только при расчётах заполнения формы.

Пользователь имеет возможность включить химический состав в собственные данные и сохранить его в каталоге User-/ Projekt-Datenbank. Действуйте следующим образом:

1. Откройте базу данных MAGMA
2. В базе выберите Ваш User-/ Projekt-Datenbank
3. В меню Import выберите из базы MAGMA сплав, ближайший по составу Вашему (Рис. 1).

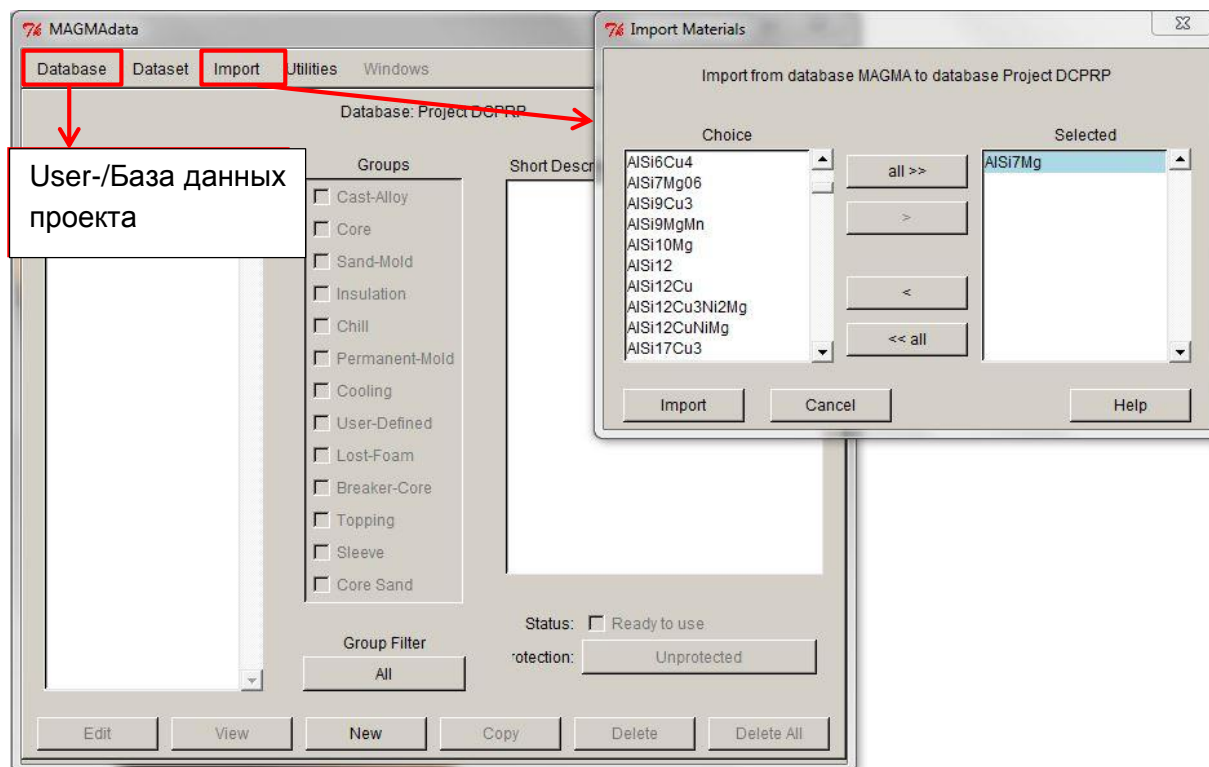


Рис. 1 Импорт химсостава сплава в собственную базу данных User-/ Projekt-Datenbank

#### 4. Выбор сплава и изменение его химсостава.

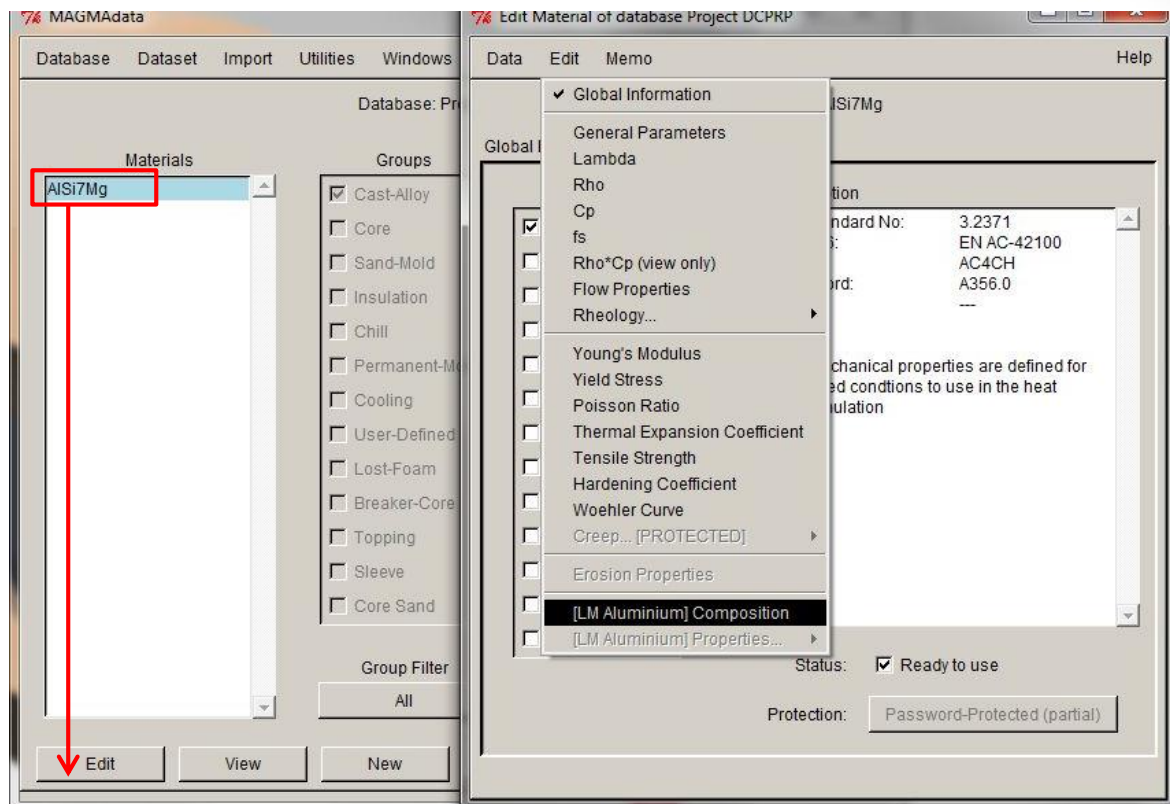


Рис 2 Изменение импортированных данных

Data View Memo Help

Material: AlSi7Mg

LM Aluminium Composition

Copper	0.0300	%	Zinc	0.1000	%
Iron	0.5000	%	Antimony		%
Magnesium	0.4000	%	Phosphorus		%
Manganese	0.3000	%	Chromium		%
Nickel	0.1000	%	Strontium		%
Silicon	7.0000	%	Sodium		%
Titanium	0.1500	%	Hydrogen		ml/100g

Рис. 3 Подбор составляющих сплава

При выборе материалов в процессоре определений можно использовать сохранённые данные.





Другая опция позволяет выбрать аналогичный сплав в базе данных MAGMA и изменить его состав непосредственно через интерфейс процессора определений. В этом случае химический состав имеет более высокий приоритет по сравнению с базой данных.

Material	Database/Filenam	Initial Temperature (°C)	Feeding Effectivity (%)	Aluminum Composition	
Cast Alloy	MAGMA/AIS9Cu	670.0	30.0	Cr (Chromium)	0.0 %
				Cu (Copper)	3.0 %
				Fe (Iron)	0.6 %
				H (Hydrogen)	0.0 ml/100g
				Mg (Magnesium)	0.3 %
				Mn (Manganese)	0.39 %
				Na (Sodium)	0.0 %
				Ni (Nickel)	0.4 %
				P (Phosphorus)	0.0 %
				Sb (Antimony)	0.0 %
				Si (Silicon)	8.0 %
				Sr (Strontium)	0.0 %
				Ti (Titanium)	0.0 %
				Zn (Zinc)	0.6 %

Рис. 4 Изменение химического состава непосредственно через интерфейс процессора определений

Данные из базы данных отображаются на светло-коричневом фоне. Элементы, доля которых в сплаве должна быть изменена, имеют белый фон (Рис. 4).

Общая доля элементов сплава (кроме Si, Cu, Mg) не должна превышать 2%. В случае несоблюдения заданных пропорций появляется предупреждение в окне 'Problems', и как следствие, механические свойства не могут быть рассчитаны.

Description
Warnings (3 Items)
Value for Fe (Iron) is outside of allowed range for aluminum microstructure calculations. Lower limit 0.0 / Upper limit 0.6
Value for Mn (Manganese) is outside of allowed range for aluminum microstructure calculations. Lower limit 0.0 / Upper limit 0.4
Alloy composition outside of allowed range for aluminum microstructure calculations

Рис. 5 Предупреждения в случае несоблюдения пропорций элементов сплава

### 3.2 Запуск расчётов 'Consider Microstructure Aluminum'

Для расчётов структуры и прогнозирования свойств изделия необходимо выбрать вид литья – гравитационное, соотв., под низким давлением, а также алюминиевый сплав в качестве материала отливки.

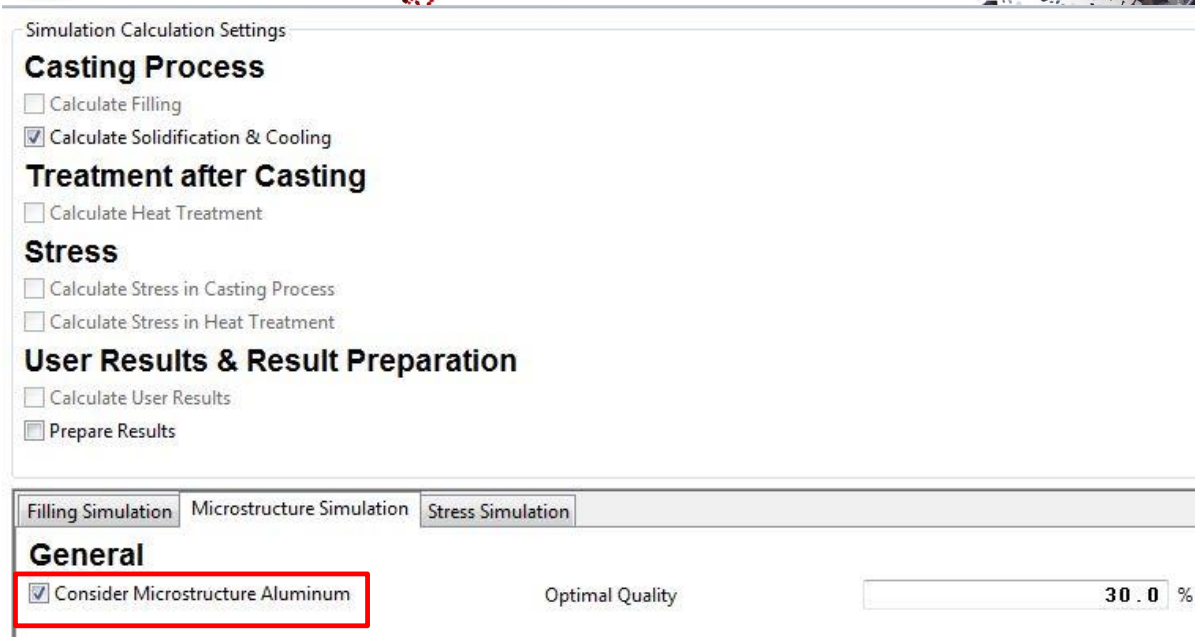


Рис. 6 Запуск расчёта структуры отливки

Если поставить галочку напротив ‚Consider Microstructure Aluminium‘ (Рис. 6), активируется расчёт структуры.

### 3.2.1 Процессы в постоянной форме

Расчёт структуры занимает больше времени, чем стандартные расчёты. Для случая многочисленных процессов при литье в постоянную форму в целях экономии времени расчёт структуры выполняется только для рабочего цикла. Для циклов разогрева расчёт структуры не выполняется.

### 3.3 Настройка параметров ‚Optimal Quality‘

‚Optimal Quality‘ представляет собой параметр, влияющий на расчёт механических свойств. Параметр должен находиться в пределах 0-100%. Значение по умолчанию находится около 30% и показывает, насколько расчётные механические свойства соответствуют реально достижимым.



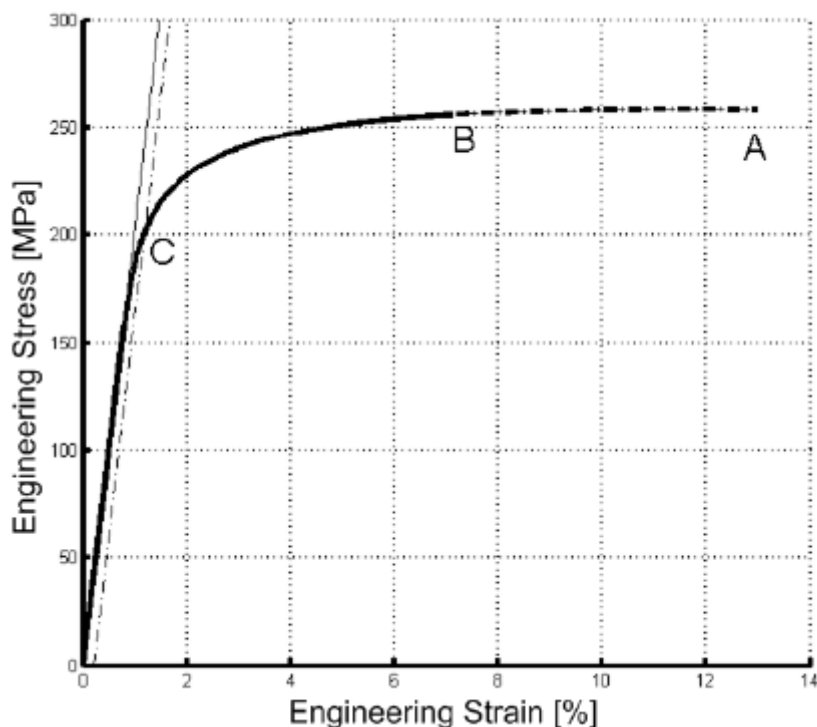
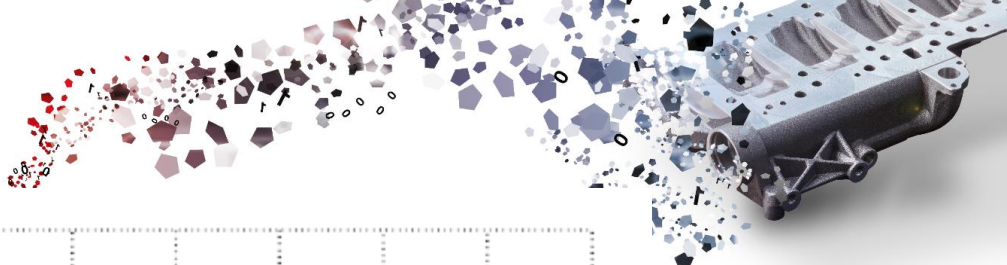


Рис. 7 Кривая напряжений при растяжении по одной оси

На рис. 7 изображена типовая кривая возникновения напряжений при растяжении.

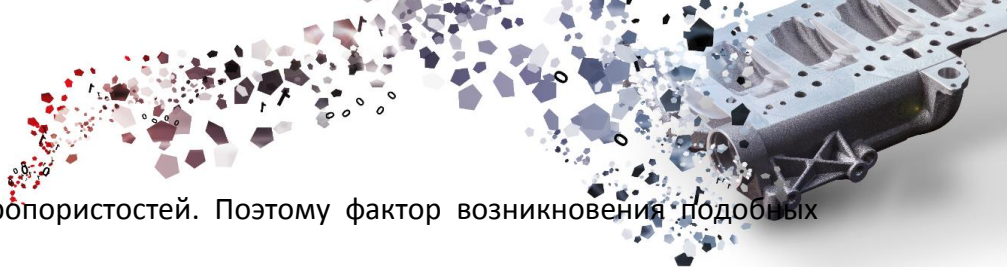
Точка А соответствует максимальному растяжению.

Точка В, в которой пересекаются жирная и тонкая линии, соответствует пределу текучести. Максимальное значение напряжения на кривой растяжения соответствует пределу прочности на разрыв.

Параллельно тонкой кривой проходит пунктирная кривая и пересекает ось растяжения в значении 0.002. В точке пересечения пунктирной кривой с кривой напряжений при растяжении предел текучести составляет  $R_{p0,2}$ . Тонкая линия представляет собой прямую линию, проходящую под определённым углом модуля эластичности (‘Young’s Modulus’) к кривой напряжений при растяжении.

Вид кривой напряжений при растяжении может быть различным в зависимости от локальных условий охлаждения, структуры и наличия пористости в отливке.

Для определения структуры и механических свойств отливки были проведены эксперименты в лабораторных условиях (Заполнение формы с минимальной турбулентностью, направленное затвердевание). В условиях реального литья в силу повышенной турбулентности (и ненаправленного затвердевания) свойства отливки могут локально ухудшаться вследствие не учтённых при расчётах потенциальных



включений оксидов и микропористостей. Поэтому фактор возникновения подобных явлений был учтён.

В случае, если прогнозируемые свойства изделия не совпадают с реальными, функцию ,Optimal Quality' можно настроить следующим образом:

1. Запустите моделирование со 100% параметров ,Optimal Quality'.
2. Сравните рассчитанное растяжение с экспериментальными показателями.
3. Соотношение обоих значений следует рассматривать как параметр ,Optimal Quality'. Например: При измеренном значении растяжения 6% и расчётном 10% соотношение 6% к 10% составит  $0.6=60\%$ . Это означает, что при факторе 'Optimal Quality' 60%, растяжение прогнозируется 6%, а не 10%, как при 100% ,Optimal Quality'.

Коррекция фактора ,Optimal Quality' влияет не только на растяжение, но и на прочность на разрыв. Предел текучести обычно остаётся неизменным (см. рис. 7).

### 3.4 Вывод результатов

В процессоре определений в меню ,Result Definition' можно вывести рассчитанные в модуле MAGMAnonferrous результаты. По умолчанию выводятся все полученные результаты. Результаты распределяются по двум каталогам:

- ,Material Properties'
- ,Microstructure'

В каталоге ,Material Properties' отображаются механические свойства во время литья и после термообработки Т6. Каталог ,Microstructure' содержит результаты расчётов структуры.

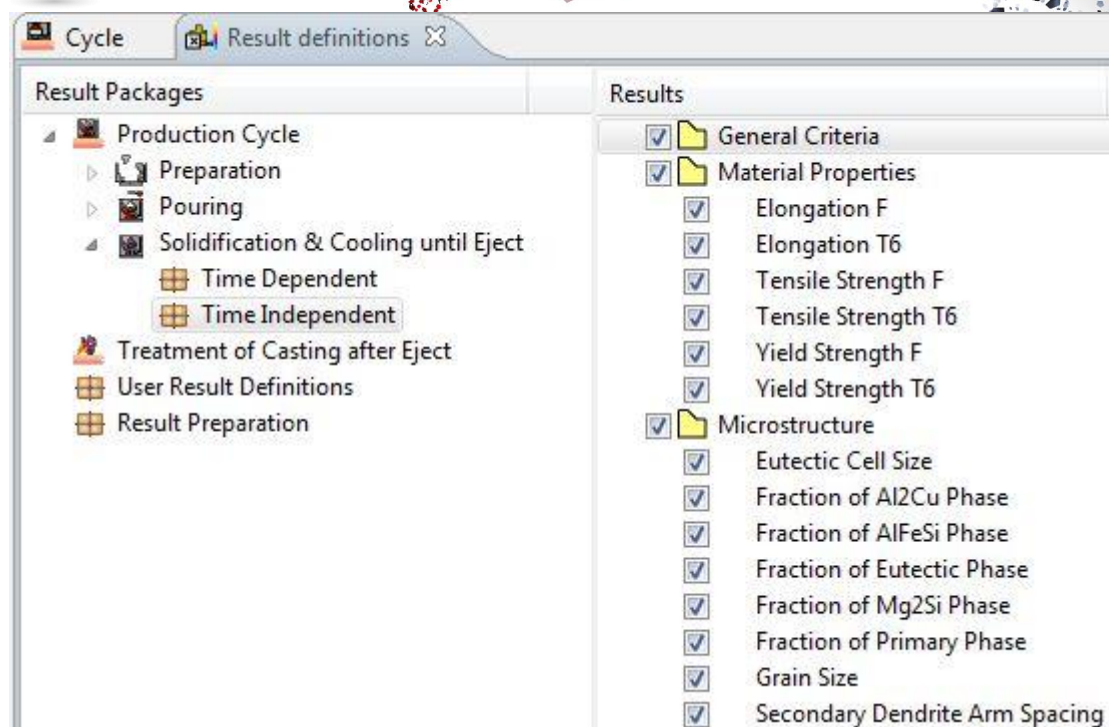


Рис. 8 Вывод результатов

Если данные по химическому составу выходят за допустимые пределы, механические свойства не могут быть рассчитаны, и соответственно, выведены.

## 4 Результаты

### 4.1 Структурные свойства

„Eutectic Cell Size“

„Fraction of Al<sub>2</sub>Cu Phase“

„Fraction of AlFeSi Phase“

„Fraction of Eutectic Phase“

„Fraction of Mg<sub>2</sub>Si Phase“

„Fraction of Primary Phase“

„Grain Size“

„Secondary Dendrite Arm Spacing“



## 4.2 Механические свойства

,Tensile Strength F'

,Tensile Strength T6'

,Yield Strength F'

,Yield Strength T6'

,Elongation F'

,Elongation T6'

\* Параметры термообработки:

- Диффузионный отжиг (обработка горячим раствором) в течение 6 час. при 525°C с содержанием магния, соотв., при 495°C для сплавов с содержанием меди 1-3,5%
- Закалка в воде при 50°C
- Выдерживание в течение 8 час. при 175°C
- 0.5 мм/мин – скорость растяжения



## 5 Примечания

Расчёт свойств выполняется после моделирования процесса затвердевания. Параметр ‚Optimal Quality‘ не влияет на моделирование затвердевания и особенности структуры. Изменения претерпевают только упомянутые механические свойства.

Структура рассчитывается в интервале от температуры плавления до температуры кристаллизации. В случае, если в начале расчёта процесса затвердевания температура плавления была ниже нормы, выполняется дополнительный упрощённый расчёт для достижения температуры плавления.

Различия в химическом составе и различные локальные условия затвердевания приводят к различиям в расчётах  $f_s$ -кривой (доля твёрдой фазы). Локальное распределение температур плавления и кристаллизации также неоднородно. Расчёт пористости связан с  $f_s$ -кривой. Поэтому результаты расчёта пористости могут отличаться от стандартных. Расчёты при помощи MAGMA nonferrous, по сравнению со стандартными, являются более точными.

## 6 Дополнительные возможности

### 6.1 Расчёт локальных $f_s$ -кривых как функции температуры

MAGMA<sup>5</sup> Rel.5.2 позволяет построить локальные  $f_s$ -кривые с помощью функции ‚Picked Points‘. Поступайте следующим образом:

1. Выберите на отливке ‚Picked Points‘.

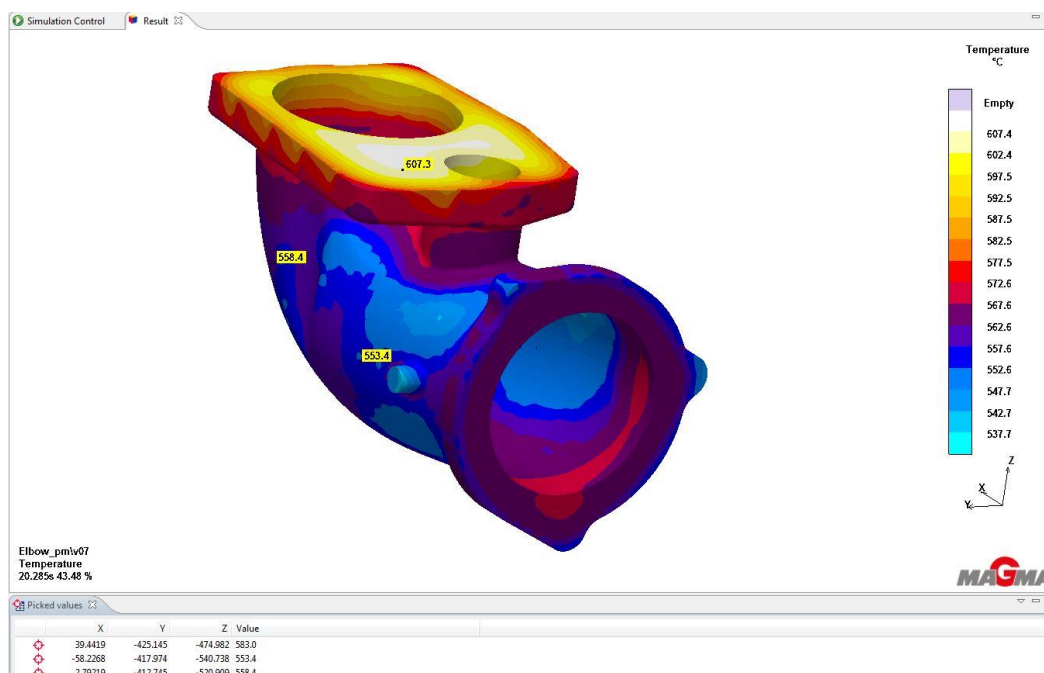


Рис. 9 Выбор ‚Picked Points‘





- Кликните правой клавишей мыши по каталогу *Fraction Solid* > и пройдите по меню *Curve Creation* > *Create Result Curve* и выберите точки, для которых требуется построить кривые.

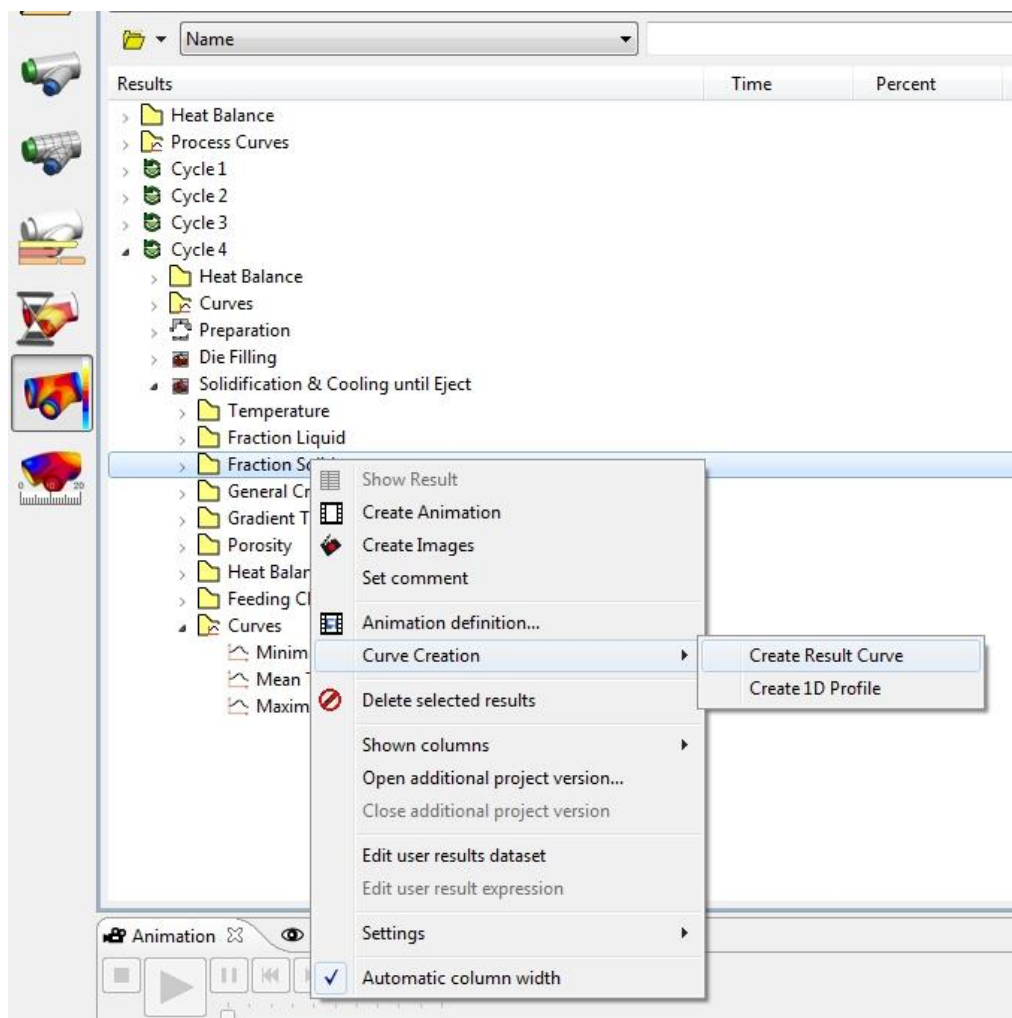


Рис. 10 Построение fs-кривой в ,Picked Points'

- Для выбранных точек будет построена fs-кривая как функция времени. Для построения используются полученные результаты, т. е., если выводятся все 2,5% показателей затвердевания, то это означает, что будут получены 40 значений кристаллизации (40 точек на fs-кривой).

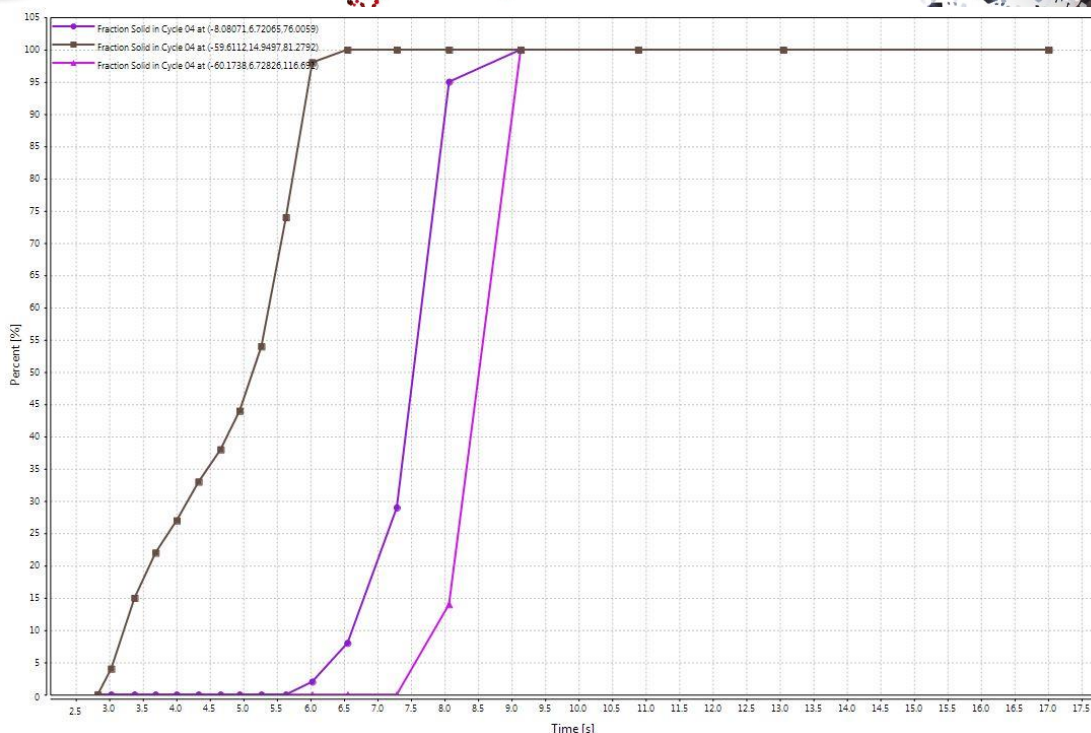
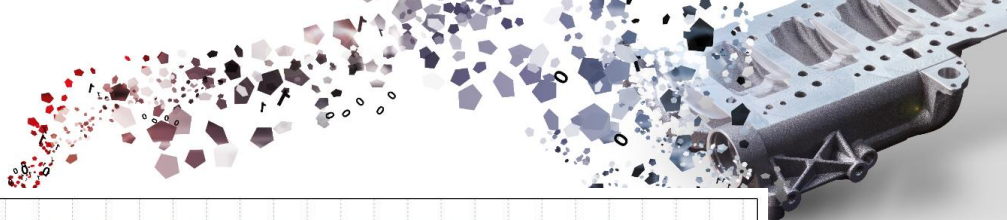


Рис. 11 Локальные  $f_s$ -кривые как функция времени

4. Сохраните данные в меню 'Save as spreadsheet data' при помощи правой клавиши.
5. Повторите действия, предусмотренные пунктами 2-4 для показателей температуры.
6. Импортируйте данные в Microsoft Excel и получите соответствующие кривые для  $f_s=f(T)$ .

## 6.2 Расчёт локальных температур кристаллизации

Для расчёта локальных температур кристаллизации используйте функцию 'User Results' (Дополнительная информация содержится в соответствующей документации).

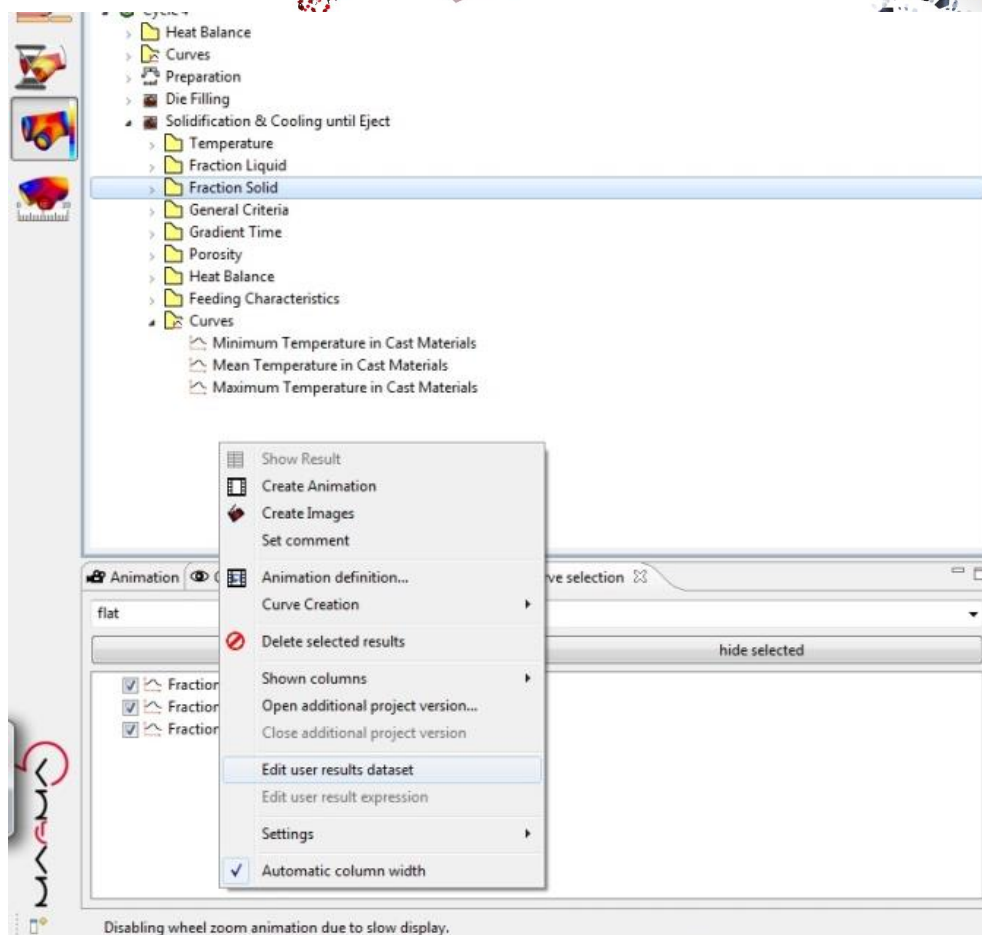


Рис. 12 Откройте пункт меню ,User Results'

Для запуска расчёта локальных температур кристаллизации поступайте следующим образом:

1. Правой клавишей выберите в интерфейсе результатов *Edit user result dataset > Add*.
2. В диалоговом окне ,User Result' присвойте результату имя. В 'Expression' введите следующую последовательность:

Скорость затвердевания \* Liquidus to Solidus – температура плавления (из базы данных для используемого сплава) \* (-1)

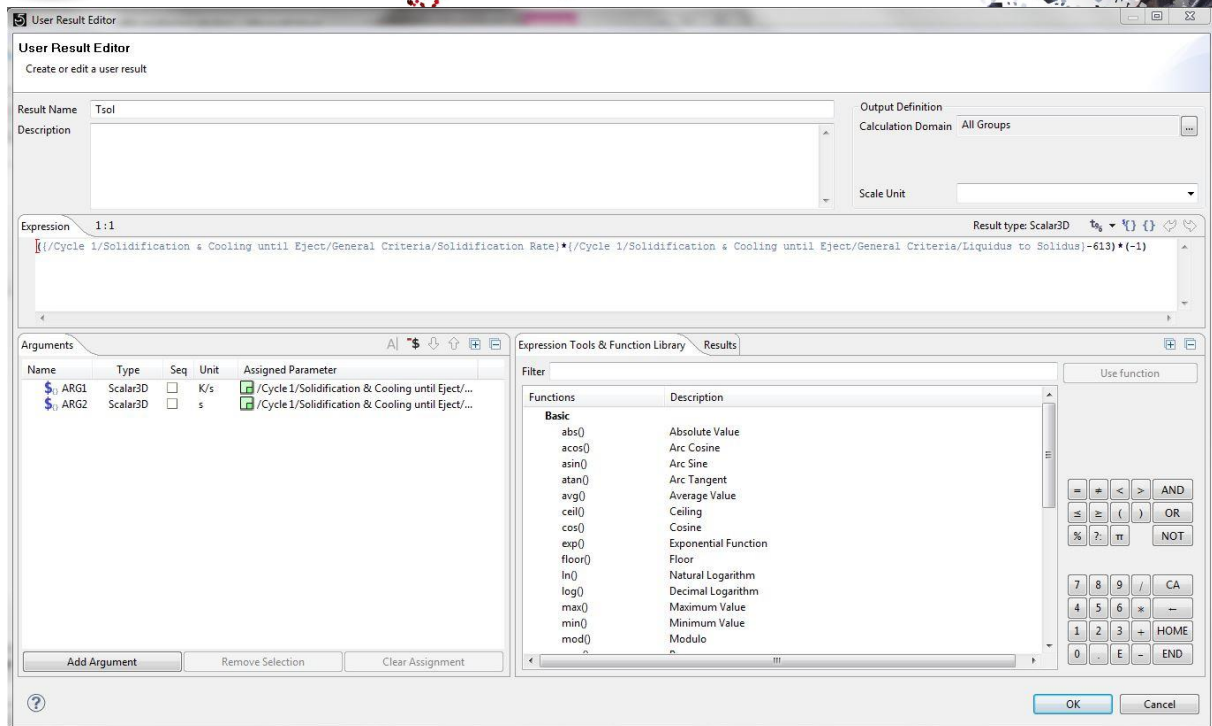


Рис. 13 Получение формулы локальных температур кристаллизации

3. Кликком по ,OK' запустите расчёт по формуле. Будет получен 3D-результат для локальных температур кристаллизации. Результаты могут различаться в зависимости от химического состава и локальных условий затвердевания.
4. В поле результатов появится каталог ,User Results'. Он содержит полученный 3D-результат.

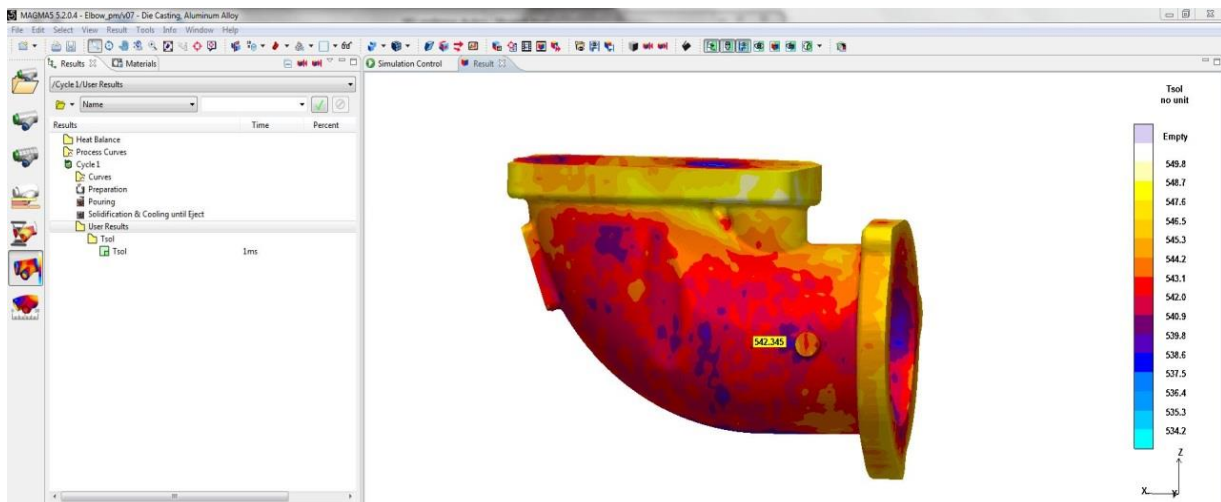


Рис. 14 ,User Result' – локальные температуры кристаллизации





## 7 Перечень иллюстраций

Рис. 1 Импорт химсостава сплава в собственную базу данных User-/ Projekt-Datenbank.	5
Рис. 2 Изменение импортированных данных .....	6
Рис. 3 Подбор составляющих сплава .....	6
Рис. 4 Изменение химического состава непосредственно через интерфейс процессора определений.....	7
Рис. 5 Предупреждения в случае несоблюдения пропорций элементов сплава .....	7
Рис. 6 Запуск расчёта структуры .....	8
Рис. 7 Кривая напряжений при растяжении по одной оси.....	9
Рис. 8 вывод результатов.....	11
Рис. 9 Выбор ‚Picked Points‘ .....	13
Рис. 10 Построение fs-кривой в ‚Picked Points‘ .....	15
Рис. 11 Локальные fs-кривые как функция времени.....	16
Рис. 12 Откройте пункт меню ‚User Results‘ .....	17
Рис. 13 Составление формулы локальных температур кристаллизации .....	18
Рис. 14 ‚User Result‘ – локальные температуры кристаллизации .....	18



## 8 Kontakt

Falls Sie weitere Fragen haben, können Sie sich gerne bei uns melden.

→ **MAGMA Gießereitechnologie GmbH**

Kackertstr. 11  
52072 Aachen, Germany  
Phone: +49 241 889010  
Fax: +49 241 8890160  
info@magmasoft.de  
www.magmasoft.de  
www.magmasoft.com

→ **MAGMA Engineering Korea Co., Ltd.**

Suite 902, Hyundai 41 Tower  
917-9 Mokdong, Yangchun-gu  
Seoul 158-723, Korea  
Phone: +82 2 21683575  
Fax: +82 2 21683585  
info@magmasoft.co.kr  
www.magmasoft.co.kr

→ **MAGMA Foundry Technologies, Inc.**

10 N. Martingale Road, Suite 425  
Schaumburg, Illinois 60173, USA  
Phone: +1 847 9691001  
Fax: +1 847 9691003  
info@magmasoft.com  
www.magmasoft.com

→ **MAGMA Bilişim ve Teknoloji Hizmetleri Ltd.Şt**

Kuzguncuk Mah. Paşalimanı Cad.  
Boğaziçi Apt. No:112/B D:1 - Üsküdar  
Istanbul, Turkey  
Phone: +90 216 5575026  
info@magmasoft.com.tr  
www.magmasoft.com.tr

→ **MAGMA Engenharia do Brasil Ltda.**

Rua Vieira de Moraes, 420  
10° Andar - Cj. 103/104  
04617-010 São Paulo, Brazil  
Phone: +55 11 55351381  
Fax: +55 11 55337638  
magma@magmasoft.com.br  
www.magmasoft.com.br

→ **MAGMA Engineering Asia-Pacific Pte Ltd.**

25 International Business Park  
#03-76/79 German Centre  
609916 Singapore  
Phone: +65 65643435  
Fax: +65 65640665  
info@magmasoft.com.sg  
www.magmasoft.com.sg

→ **MAGMA Engineering Branch Office India**

2nd floor Aparajita Arcade,  
Flat no. # 3-5-900/1, Opp: Pantaloons  
Store,  
Himayath Nagar Main Road,  
Hyderabad - 500 029, India  
Phone: +91 40 66636516  
Fax: +91 40 66636517

→ **MAGMA Engineering (Suzhou) Co., Ltd.**

Room 615 CIQ Tower  
No. 98 Suhui Road, Suzhou Industrial Park  
Jiangsu Province, 215021 China  
Phone: +86 512 62725820  
Fax: +86 512 62725825  
info@magmasoft-china.com  
www.magmasoft-china.com



info@magmasoft.co.in

www.magmasoft.co.in



— **MAGMA Gießereitechnologie GmbH**

K Vinici 1256, studio 8

53002 Pardubice, Czech Republic

Phone: +42 0773 154664

P.Kotas@magmasoft.cz

www.magmasoft.de