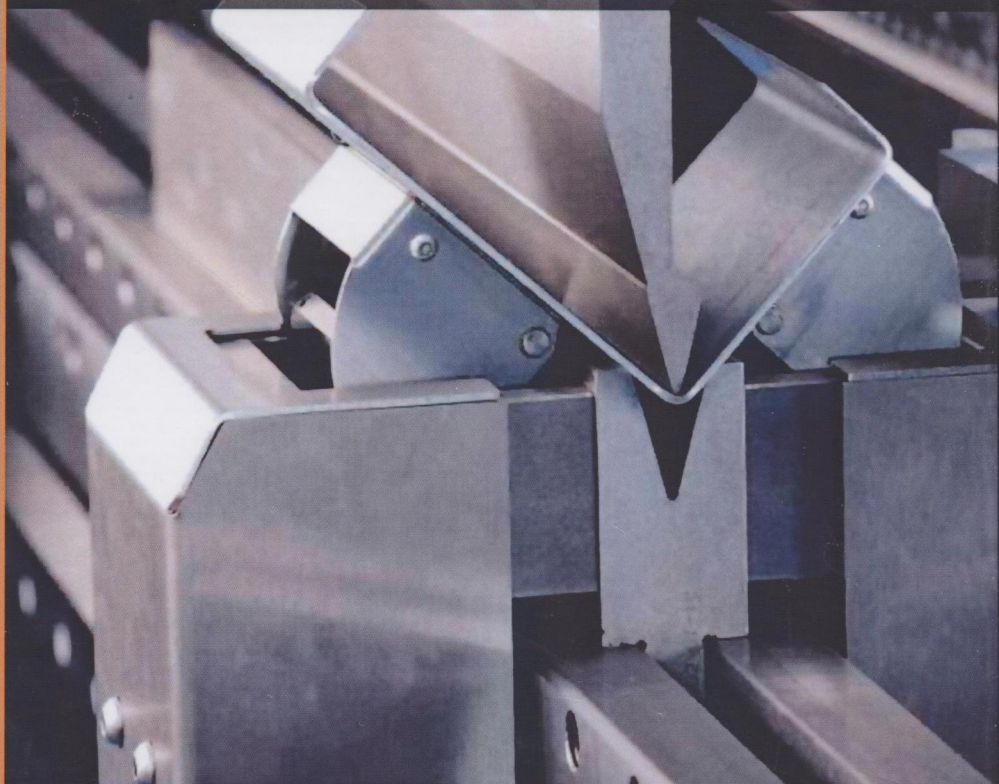


О. Е. Грушко, Б. В. Овсянников, В. В. Овчинников

КАЛЬЦИЙ КАК ЭЛЕМЕНТ ДЛЯ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ ДЕФОРМИРУЕМЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ



«Инфра-Инженерия»

**О. Е. ГРУШКО, Б. В. ОВСЯННИКОВ,
В. В. ОВЧИННИКОВ**

**КАЛЬЦИЙ КАК ЭЛЕМЕНТ
ДЛЯ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ
ДЕФОРМИРУЕМЫХ
АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

Монография

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2021

УДК 669.71::669.046.516.2

ББК 34.35

Г91

Рецензенты:

Шлятин А. Д. – доктор технических наук, профессор
(Московский политехнический университет);

Самойленко В. М. – доктор технических наук, профессор
(Московский государственный технический университет гражданской авиации)

Грушко, О. Е.

Г91 Кальций как элемент для микролегирования деформируемых алюминиевых сплавов : монография / О. Е. Грушко, Б. В. Овсянников, В. В. Овчинников. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 296 с.: ил., табл.

ISBN 978-5-9729-0595-9

Систематизированы основные сведения по легированию алюминиевых сплавов кальцием и другими микродобавками. Приведены результаты исследований влияния микролегирования кальцием на структуру и свойства слитков и деформированных полуфабрикатов из сплавов Al–Mg–Li и Al–Mg–Si, полученные авторами при разработке и освоении производства этих сплавов. Показан механизм влияния микролегирования кальцием на структуру, свойства и технологичность сплавов исследованных систем. Приведены данные о штампуемости и свариваемости сплава В-1341 системы Al–Mg–Si, микролегированного кальцием.

Для инженерно-технических работников металлургических и машиностроительных предприятий. Издание может быть полезно аспирантам и студентам, изучающим материаловедение и технологию легких сплавов.

УДК 669.71::669.046.516.2

ББК 34.35

ISBN 978-5-9729-0595-9 © Грушко О. Е., Овсянников Б. В., Овчинников В. В., 2021

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. КАЛЬЦИЙ В АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ	5
1.1. Свойства кальция	5
1.2. Взаимодействие кальция с алюминием (диаграмма состояния Al–Ca)	8
1.3. Современные представления о микролегировании алюминиевых сплавов.....	12
Глава 2. КАЛЬЦИЙ В ДЕФОРМИРУЕМЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВАХ С ЛИТИЕМ: ПРИМЕСЬ ИЛИ ЛЕГИРУЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ?	19
2.1. История вопроса	19
2.2. Фазы, образованные кальцием, в слитках и штамповках сплава 1420, промышленного производства	20
2.3. Микрорентгеноспектральный и термический анализ сплава 1421 системы Al–Mg–Li–Zr–Sc с примесью кальция	23
2.4. Подтверждение обоснованности микролегирования сплава 1420 кальцием. Поиск максимально возможной концентрации кальция в сплаве 1420	29
2.4.1. Влияние содержания кальция на свойства цилиндрических слитков и пресованных профилей	30
2.4.2. Влияние кальция на свойства плоских слитков и листов из сплава 1420	37
2.5. Влияние кальция на сплавы системы Al–Cu–Li	42
Глава 3. МИКРОЛЕГИРОВАНИЕ КАЛЬЦИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ ДЕФОРМИРУЕМЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Al–Mg–Si	45
3.1. Почему выбраны сплавы системы Al–Mg–Si	45
3.2. Влияние кальция на зеренную структуру листов сплава системы Al–Mg–Si	49
3.3. Влияние кальция на механические и технологические свойства листов при холодной деформации (рождение сплава)	55
Глава 4. ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА СПЛАВА В-1341 В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ	58
4.1. Особенности приготовления расплава, содержащего кальций	58
4.2. Влияние кальция на литейные свойства, структуру и технологичность сплава В-1341	65
4.2.1. Макро- и микроструктура, распределение химических элементов по сечению слитков сплавов В-1341 и АВ	65

4.2.2. Термический и микрорентгеноспектральный анализ слитков сплава В-1341	73
4.2.3. Влияние гомогенизации на технологическую пластичность сплава В-1341	83
4.2.4. Влияние кальция на технологическую пластичность слитков сплавов системы Al–Mg–Si	86
4.3. Влияние параметров деформации на формирование механических свойств и структуры плит из сплава В-1341 и 6061	89
4.4. Влияние температуры и времени нагрева под закалку на структуру и механические свойства листов сплава В-1341	93
4.5. Разработка режима искусственного старения листов сплава В-1341	101
4.6. Влияние естественного старения на механические свойства и технологичность листов	104
4.7. Исследование комплекса эксплуатационных и коррозионных свойств листов сплава В-1341	106

Глава 5. ВЛИЯНИЕ МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ КАЛЬЦИЕМ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРЕССОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СПЛАВА В-1341

5.1. Технологическое освоение производства прессованных изделий из сплава В-1341	115
5.1.1. Исследование прутков Ø22 и 26 мм из сплава В-1341	116
5.1.2. Исследование труб Ø25×2, 10×1 мм из сплава В-1341	118
5.1.3. Исследование труб размером 120×15 и 120×20 мм из сплава В-1341	120
5.2. Структура и свойства массивных профилей из сплава В-1341	122
5.3. Обсуждение результатов прессования крупногабаритных профилей из сплава В-1341	127

Глава 6. ОСОБЕННОСТИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПОЛУФАБРИКАТОВ СПЛАВА В-1341

6.1. Процессы гибки и штамповки листовых полуфабрикатов	129
6.2. Технология гибочных работ	133
6.3. Гибка листов сплава В-1341 на трехвалковых гибочных вальцах	149
6.4. Холодная штамповка листовых заготовок в штампах	151
6.5. Штамповка элементов трубопроводов на падающих молотах из листовых заготовок сплава В-1341	153
6.6. Гибка профилей из листа сплава В-1341 стесненным изгибом	155
6.7. Гибка профилей из листа сплава В-1341 эластичным пуансоном	156
6.8. Формообразование холоднодеформированных тонкостенных труб из сплава В-1341	157
6.8.1. Характеристика холоднодеформированных тонкостенных труб из сплава В-1341	157
6.8.2. Способы разделки концов трубопроводов	162
6.8.3. Гибка труб	166

6.8.4. Гибка тонкостенных труб из алюминиевых сплавов	172
6.9. Исследование режимов формообразования холоднодеформированных тонкостенных труб из сплава В-1341 в различных состояниях поставки	173
Глава 7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ПОЛУФАБРИКАТОВ СПЛАВА В-1341	- .
7.1. Контактная точечная сварка листов сплава В-1341	187
7.1. Контактная точечная сварка листов сплава В-1341	187
7.2. Клеесварные соединения сплава В-1341, выполненные контактной сваркой	195
7.3. Аргонодуговая сварка листов сплава В-1341	202
7.3.1. Свариваемость сплавов системы Al-Mg-Si	202
7.3.2. Аргонодуговая сварка точечных соединений листов	206
7.3.3. Особенности аргонодуговой сварки бортовых соединений листов сплава В-1341	210
7.3.4. Механические свойства и структура стыковых соединений листов сплава В-1341Т ¹ , выполненных дуговой сваркой в инертных газах	215
7.3.5. Импульсная дуговая сварка алюминиевого сплава В-1341Т ¹ неплавящимся электродом в аргоне	218
7.4. Лазерная сварка листов сплава В-1341	222
7.5. Свариваемость сплава В-1341 со сплавами системы Al-Mg при сварке плавлением	229
7.6. Электронно-лучевая сварка массивных прессованных профилей из сплава В-1341	233
7.7. Сварка трением с перемешиванием полуфабрикатов из сплава В-1341	239
Глава 8. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СПЛАВОВ, ЛЕГИРОВАННЫХ КАЛЬЦИЕМ	251
8.1. Сплавы электротехнического назначения	251
8.2. Легирование кальцием с целью повышения коррозионной стойкости алюминиевых сплавов	254
8.3. Легирование сплавов системы Al-Mg кальцием с целью защиты от выгорания магния и повышения технологической пластичности	256
8.4. Влияние кальция на сплавы системы Al-Cu	260
8.5. Перспективные сплавы системы Al-Si-Mg-Cu	262
8.6. Влияние кальция на сплавы системы Al-Si	263
8.7. Система Al-Ca-Sc-Mg	267
8.8. Сплавы на основе кальцийсодержащей эвтектики	267
8.8.1. Сплавы системы Al-Ca-Sc	268
8.8.2. Система Al-Ca-Sc-Si	269
8.8.3. Система Al-Ca-Sc-Zn	270
8.8.4. Система Al-Ca-Sc-Cu	270

8.8.5. Система Al–Ca–Sc–Ni	270
8.8.6. Система Al–Ca–Sc–Fe	271
8.8.7. Система Al–Ca–Sc–Mn	272
8.8.8. Высокопрочные сплавы на основе системы Al–Ca–Zn–Mg	272
Список литературы	276