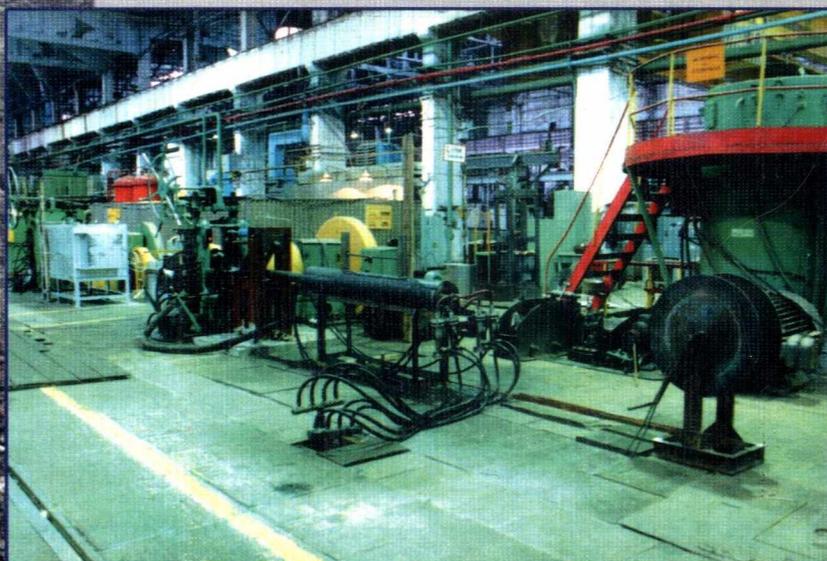


Н.Н. Довженко, С.В. Беляев,
С.Б. Сидельников, И.Н. Довженко,
Е.С. Лопатина, Р.И. Галиев

Библиотека
журнала СФУ



Прессование алюминиевых сплавов: моделирование и управление тепловыми условиями



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Н.Н. Довженко, С.В. Беляев, С.Б. Сидельников,
И.Н. Довженко, Е.С. Лопатина, Р.И. Галиев

**ПРЕССОВАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ
СПЛАВОВ: МОДЕЛИРОВАНИЕ
И УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫМИ
УСЛОВИЯМИ**

Монография

Красноярск
СФУ
2009

УДК 621.777
ББК 34.62
С34

Рецензенты: доктор технических наук, профессор Южно-Уральского государственного университета В.Г. Шеркунов; доктор технических наук, профессор Магнитогорского технического университета Г.С. Гун

Довженко Н.Н.

С34 Прессование алюминиевых сплавов: моделирование и управление тепловыми условиями: монография / Н.Н. Довженко, С.В. Беляев, С.Б. Сидельников, И.Н. Довженко, Е.С. Лопатина, Р.И. Галиев. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2009. – 256 с.

ISBN 978-5-7638-1851-2

Рассмотрены теоретические и технологические основы расчета и моделирование тепловых условий различных видов прессования. Приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований параметров процесса при изменении условий нагрева металла, деформационных и температурно-скоростных режимов прессования. Представлены новые конструкции устройств для охлаждения прессового инструмента и технические решения для управления тепловыми условиями и автоматизации прессового производства.

Для научных сотрудников, аспирантов и инженерно-технических работников, специализирующихся в области прессового производства; работа также может быть использована студентами специальности «Обработка металлов давлением».

УДК 621.777
ББК 34.62

ISBN 978-5-7638-1851-2

© Сибирский федеральный университет, 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
ГЛАВА 1. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРЕССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА И МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ УСЛОВИЯМИ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ.....	7
1.1. Современные тенденции развития процессов прессования люминиевых сплавов	7
1.2. Методы исследования тепловых условий процесса прессования	22
1.3. Современный уровень управления тепловыми условиями процесса прессования	31
ГЛАВА 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРИ ПРЕССОВАНИИ ПРОФИЛЕЙ НА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССАХ.....	42
2.1. Анализ тепловых условий при дискретном прессовании сплошных профилей	43
2.2. Определение тепловых условий при дискретном прессовании полых профилей	61
2.3 Анализ тепловых условий при прессовании металла из принудительно охлаждаемого контейнера.....	74
2.4. Определение тепловых условий для полунепрерывного прессования.....	91
2.5. Оптимизация температурно-скоростных условий процесса прессования	99
ГЛАВА 3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-СКОРОСТНЫХ И ЭНЕРГОСИЛОВЫХ УСЛОВИЙ ПРОЦЕССА НЕПРЕРЫВНОГО ПРЕССОВАНИЯ	116
3.1. Моделирование геометрии асимметричного очага деформации при совмещенной прокатке - прессовании с двумя риводными валками	117
3.2. Моделирование геометрии асимметричного очага деформации при совмещенной прокатке-прессовании с одним приводным валком.....	146
3.3. Кинематика асимметричного очага деформации при совмещенной прокатке-прессовании.....	159
3.4. Энергосиловые параметры процесса совмещенной прокатки-прессования	167
3.5. Моделирование тепловых условий непрерывного процесса прессования способом совмещенной прокатки - прессования.....	178

ГЛАВА 4. КОНСТРУКЦИИ УСТРОЙСТВ И НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ УСЛОВИЯМИ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ	192
4.1. Разработка опытно-промышленных установок и устройств для прессования алюминиевых сплавов из принудительно охлаждаемого контейнера	192
4.2. Технические решения для управления тепловыми условиями полунепрерывного прессования алюминиевых профилей.....	215
4.3. Новые конструкции устройств для непрерывного прессования с управляемыми тепловыми условиями процесса деформирования.....	227
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	239
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	241

ПРЕДИСЛОВИЕ

Повышение эффективности производства не перестает быть актуальным на всех этапах научно-технического прогресса. В металлургической промышленности эта задача решается путем совершенствования и создания новых технологических процессов, расширения сортамента, повышения производительности и качества продукции.

Пресс-изделия из алюминиевых сплавов представляют собой высокоэффективный вид металлопродукции, который имеет развитый мировой рынок с постоянным приростом потребления. Основным способом производства профилей из алюминиевых сплавов по-прежнему является прямое дискретное и полунепрерывное прессование на автоматизированном комплексе с мощным гидравлическим прессом. Данное оборудование предназначено для поточного производства и неэффективно при переходе на производство длинномерных пресс-изделий небольшого поперечного сечения, особенно при небольших объемах производства. Начавшаяся модернизация металлургической отрасли российской промышленности привела к увеличению количества малых и средних предприятий на базе интегрированных мини-производств с внедрением технологий непрерывного прессования на основе совмещения и комбинирования методов литья, обработки металлов давлением и термообработки. Реализация данных технологий требует создания комплекса научно обоснованных технических и технологических решений, позволяющих управлять тепловыми условиями процесса прессования. Эта задача особенно актуальна для отечественной промышленности, являющейся мировым лидером по экспорту первичных цветных металлов и сплавов, но с низкой долей в экспорте по полуфабрикатам (до 10 % от общего объема). Поэтому повышение эффективности производства пресс-изделий из алюминиевых сплавов на основе управления тепловыми условиями процесса прессования является актуальной задачей.

Благодаря исследованиям отечественных и зарубежных ученых, таких как Б. Авитцур, Р. Акерт, В.Л. Бережной, А.И. Батулин, А.А. Богатов, В.Н. Выдрин, М.С. Гильденгорн, Ю.П. Глебов, Б.М. Готлиб, М.Ф. Головинов, Э. Герман, Д. Грин, Л.М. Грабарник, А.П. Грудев, С.И. Губкин, Г.С. Гун, Г.Я. Гун, Р. Далхаймер, В. Джонсон, М. З. Ерманок, В.В. Жолобов, Г.И. Зверев, А.В. Зиновьев, В.М. Клименко, В.Л. Колмогоров, С. Кайзер, В.Н. Корнилов, А.И. Колпашников, Х. Кудо, Ю.Н. Логинов, А.В. Лыков, Ю.В. Манегин, Е.М. Макушок, А.А. Нагайцев, Б.А. Никифоров, Г.С. Никитин, Я.М. Охрименко, М.Г. Поляков, И.М. Павлов, И. Л. Перлин, П.И. Полухин, Б.А. Прудковский, И.Н. Потапов, Л.Х. Райтбарг, С.Е. Рокотян, А.М. Рытиков, В.С.

Смирнов, В.К. Смирнов, Л.Г. Степанский, Д.И. Суяров, А.В. Третьяков, В.А. Тюрин, М.А. Тылкин, А.И. Целиков, А.П. Чекмарев, С.Н. Черняк, В.А. Шилов, Т. Шепард, В.Н. Шеркунов, В. Н. Щерба, Ю.Ф. Шевакин, Н.И. Яловой и многих других, созданы теория и прикладные научно-технические разработки в области обработки металлов давлением, используемые в работе для обоснования и дальнейшего повышения эффективности производства пресс-изделий из алюминиевых сплавов на основе управления тепловыми условиями процесса прессования.

В монографии представлены результаты теоретических, экспериментальных исследований и опытно-промышленных испытаний, выполненных авторами в течение ряда лет, внедренные на ряде предприятий металлургической отрасли.

В данной работе проведен анализ теплового взаимодействия в системе деформируемый металл – принудительно охлаждаемый прессовый инструмент в сравнении с прессованием при помощи обычного инструмента. На основе данного анализа разработан комплекс математических моделей для расчета тепловых условий процессов дискретного, полунепрерывного и непрерывного прессования с учетом контактного взаимодействия с прессовым инструментом и изменением реологии деформируемого металла. Для достижения максимально возможной скорости прессования при приемлемом качестве пресс-изделий разработана методика определения оптимальных температурно-скоростных режимов при прессовании алюминиевых сплавов. С целью создания комплекса математических моделей: статистики и геометрических параметров очага деформации; кинематики деформации металла; расчета энергосиловых параметров процесса совмещенной прокатки-прессования (СПП); определения температурных условий непрерывного прессования усовершенствована методика расчета параметров процесса СПП с учетом асимметрии и реологии деформируемого металла. Результаты исследований использованы при разработке новых технических решений для управления тепловыми условиями процесса прессования алюминиевых сплавов, представленных в монографии.

Монография рассчитана на научных сотрудников и инженерно-технических работников, специализирующихся в области прессового производства, а также может быть полезна преподавателям вузов при обучении студентов по специальности 110600 «Обработка металлов давлением».

Авторы выражают благодарность за помощь, оказанную в работе над книгой в процессе ее подготовки к печати, работникам ООО «ЛПЗ «СЕГАЛ»» инженерам Л.А. Киселеву, А.В. Телегину, П.О. Широкову, сотрудникам кафедры обработки металлов давлением ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» Р.Е. Соколову, А.С. Пещанскому и др.

Авторы заинтересованы в дальнейшем совершенствовании исследований в этом направлении и признательны профессору, доктору технических наук Г.С. Гуну и профессору, доктору технических наук В.Н. Шеркунову за ценные замечания и пожелания, высказанные ими при рецензировании монографии.

ГЛАВА 1

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРЕССОВОГО ПРОИЗВОДСТВА И МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ УСЛОВИЯМИ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

1.1. Современные тенденции развития процессов прессования алюминиевых сплавов

Алюминиевым сплавам присущи исключительно ценные эксплуатационные и технологические свойства, поэтому по важности и распространённости они являются вторыми после стали металлическими конструкционными материалами [1-4].

Основными потребителями сплошных и полых профилей из алюминиевых сплавов выступают авиационная промышленность, судостроение, холодильная техника, электротехническая промышленность. В последние годы сортамент полых профилей из алюминиевых сплавов значительно увеличился благодаря их использованию в строительстве для изготовления отделочных и конструкционных строительных деталей.

Выполненный в работах [5-7] анализ отечественного прессового производства в сравнении с мировым уровнем показал следующее.

1. На заводах отрасли эксплуатируется около 40 % прессов со сроком службы более 35 лет и еще 30 % – более 20 лет (при нормативе в Японии и США 7–11 лет), парк прессов в 2,8 и 1,3 раза меньше, чем соответственно в США и Японии, и включает всего 5 % прессов для обратного прессования; недостаточно средств автоматизации, механизации и контроля технологических процессов; отсутствуют автоматические комплексы и линии, САПР и комплексы с ЧПУ для изготовления инструмента. Такое производство неизбежно характеризуется пониженными показателями производительности и качества продукции.

2. В стране не изготавливают горизонтальные пресс-автоматы усилием 3,5, 4,4 и 6,3 МН, целесообразные для прессования профилей малого сечения; пресс-автоматы двухходовой конструкции для обратного прессова-

ния изделий из прочных сплавов (в Японии известных с 1973 г.), установки типа «Конформ» для непрерывного прессования мелких профилей и труб (в Англии с 1972 г.).

3. В составе адьюстажного оборудования, выпускаемого и используемого в стране, отсутствует приемное оборудование за прессом с регулируемым натяжением профилей; водо-воздушное и водяное закалочные устройства; ножницы для скоростной резки профилей, заблокированные с кареткой устройства натяжения; правильно-растяжная машина-автомат с регулятором величины остаточной деформации; автоматизированные ножницы для резки профилей в меру; автоматические системы удаления отходов и контроля размеров и качества пресс-изделий.

4. Имеется существенный разрыв между уровнем научно-технических разработок и производства.

Деформируемые алюминиевые сплавы, из которых изготавливают пресс-изделия, по прочностным характеристикам можно условно разделить на следующие группы [3]:

- сплавы с низкой прочностью ($\sigma_B < 300 \text{ МПа}$): нетермоупрочняемые (технически чистый алюминий А0, А5Е, А7Е, АД1 и низколегированные сплавы АМц, АМ1, АМ2, АМ3) и термоупрочняемые (АВ, АД31, АД33, АД35);

- сплавы средней прочности ($\sigma_B = 300 \div 440 \text{ МПа}$): нетермоупрочняемые (АМг3, АМг5, АМг6) и термоупрочняемые (1915, 1925, Д1, 1420, Д16);

- сплавы высокой прочности ($\sigma_B > 440 \text{ МПа}$) термоупрочняемые (В95, В96).

В связи со значительными различиями прочностных характеристик алюминиевых сплавов систем $Al - Mg - Si$ и $Al - Zn - Mg$ технологии их производства также будут иметь существенные отличия по параметрам механической и термической обработки [2, 3].

Уровень мирового потребления легкодеформируемых, «мягких» сплавов с низкой прочностью обычно достигает 85–90 % от всего объема прессованной продукции на рынке. «Мягкие» сплавы высокотехнологичны, производство пресс-изделий из них поддается полной автоматизации с использованием поточных линий и компьютеризации. Поэтому с начала 1960-х годов оборудование и производство на заводах по прессованию «мягких» сплавов развиваются по следующей схеме:

- механизированная прессовая установка (печь, пресс, ролланг, копильник);

- автоматизированная поточная линия (до 14 видов оборудования, включая механизированный стеллаж со слитками и печь, пресс-автомат и установку пресс-закалки, ПРМ и линию резки профилей в меру, штабелирующую систему и комплекс для искусственного старения);

- компьютеризованный прессовый цех-автомат [8-10].

В связи с быстропрессуемостью «мягких» сплавов выгодно сокращать непроизводительные затраты времени (подготовительно-заключительное и вспомогательное [11]) и автоматизировать операции точного производства пресс-изделий.

Дорогостоящие мероприятия по автоматизации прессового производства «мягких» сплавов в поточном цикле на заводах с использованием компьютерного контроля и программирования (до 500 программ) хорошо окупаются за счет увеличения производительности (в 2–2,5 раза) и снижения потерь металла (на 5–8 %) при увеличении времени полезной эксплуатации машин, повышении сортности продукции и большей эффективности управления производством [8-10].

В работе [12] представлена современная общепринятая технология поточного производства профилей из «мягких» алюминиевых сплавов системы $Al - Mg - Si$, которую можно представить в виде следующих связанных схем:

- на участке допрессового оборудования осуществляются: газовый нагрев слитка-столба с перемещением роботом \Rightarrow разделение слитка на заготовки «горячими» пресс-ножницами \Rightarrow подача заготовки к прессу;

- на участке прессы осуществляются: подача заготовки в контейнер; распрессовка ее с выпуском воздуха; прямое полунепрерывное прессование с компьютерным обеспечением постоянства скорости, выходной температуры и натяжения профилей (пуллером); отрезка пресс-остатка ножом с фиксированием конца профиля в камере матрицы; повторение этого цикла;

- технология адьюстажной обработки осуществляется с использованием оптимального по длине выходного стола-рольганга, сдвоенных пуллеров (с минимумом вспомогательного времени), отрезных ножниц по месту сварки выпрессовываемых профилей, установки пресс-закалки профилей, ременных транспортеров из теплостойкого кевлара для передачи и финишного охлаждения до 40–50 °С отпрессованных профилей, автоматизированной ПРМ, линии дозирования количества профилей и финальной дисковой резки их в меру, системы автоматизированной штабелировки профилей в корзины и искусственного старения их в печи с реверсом горячего воздуха. Изменения в комплектации поточных линий для прессования «мягких» сплавов показаны в табл. 1.1 [6].

Отметим, что в нашей стране по известным причинам развитие пресслиний остановилось на варианте 1975–1980 гг. [7], поэтому, не владея даже такой общепринятой технологией, российские предприятия приобретают иностранное оборудование автоматизированных поточных линий, удовлетворяющее задачам и условиям производства.

Авторы работ [7, 12] отмечают, что в ближайшее время развития автоматизированной поточной линии для прессования «мягких» сплавов в