

УДК 669.7.018:621.771.237

**ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ НА ПАРАМЕТРЫ
ПРОКАТКИ ПЛОСКИХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ
СПЛАВОВ**

Ю.Н.Логинов, О.А.Тулюпа

(УГТУ - УПИ, г. Екатеринбург, ОАО КУМЗ, г. Каменск-Уральский)

Выполнен анализ влияния скорости деформации на энергозатраты в производстве плоских полуфабрикатов из алюминиевых сплавов. Показано, что в реальных условиях прокатки повышение энергосиловых параметров прокатки алюминиевых сплавов за счет фактора скорости может составлять величину от 70 до 90%. Показано, что для алюминиевых сплавов, обладающим эффектом структурного упрочнения, изменение динамики работы прокатного стана может привести к разнотельной структуре.

В технологии производства полуфабрикатов из алюминиевых сплавов в горячем состоянии особое значение имеет фактор скорости деформации [1-4]. На основании опытов по определению относительного сужения шейки в книге [1] сделан вывод о том, что пластические свойства алюминиевых сплавов снижаются с ростом скорости нагружения.

При определении энергозатрат горячей прокатки фактор скорости играет двойственную роль. С одной стороны, скорость деформации вызывает эффект скоростного упрочнения металла, что приводит к повышению энергосиловых параметров прокатки, с другой стороны, при повышенной скорости прокатки сам процесс удается закончить раньше, заготовка охлаживается в меньшей степени, уменьшается эффект увеличения сопротивления деформации и связанные с ним расходы энергии.

Для оценки вклада скорости в эффект упрочнения материала авторы исследований в области деформации алюминиевых сплавов [2] вводят понятие скоростного коэффициента $k_{ск} = \sigma_{s100}/\sigma_{s0,01}$, здесь σ_{s100} и $\sigma_{s0,01}$ – сопротивление деформации при скорости 100 и 0,01 с⁻¹ соответственно. Выявлено, что наивысшее значение этот показатель приобретает для алюминиевых сплавов, легированных магнием, в том числе для сплава АМг6 он равен 3,07.

В производственных условиях ОАО КУМЗ определен диапазон средних скоростей деформации при прокатке алюминиевых сплавов. Его границы лежат в пределах 0,1...10 с⁻¹. Известно, что энергетические затраты при прокатке прямо пропорциональны величине сопротивления деформации, поэтому можно установить, какую роль играет скорость деформации в повышении работы прокатки. Для этого воспользуемся данными аппроксимации кривых упрочнения вида

$$\sigma_s = b_1 \varepsilon^{b_2} \xi^{b_3} \exp(-b_4 \theta), \quad (1)$$

приведенными в статье М.Я. Бровмана [5]. В этой формуле b_1, b_2, b_3, b_4 – эмпирические коэффициенты; ε – относительное обжатие; ξ – скорость деформации; θ – температура.

В табл. 1 приведены значения эмпирических коэффициентов для некоторых алюминиевых сплавов.

Параметры, характеризующие кривые упрочнения

Материал	θ , °С	b_1 , МПа	b_2	b_3	b_4	b_5
Алюминий	300...500	180	0,37	0,14	0,0017	58,4
АМц	300...500	250	0,32	0,10	0,0010	114,0
АМг6	300...450	440	0,35	0,13	0,0012	178,6

Допустим, что прокатка осуществляется при одних и тех же термомеханических параметрах за исключением скорости деформации. Назначим температуру прокатки равной 400°С и относительное обжатие 0,3. Преобразуем формулу (1) для этого случая прокатки, оставив в качестве аргумента скорость деформации:

$$\sigma_s = b_5 \xi^{b_3}, \quad (2)$$

здесь b_5 – эмпирический коэффициент.

После подстановки в формулу (2) границ диапазона скоростей деформации, характерных для производства полуфабрикатов, получим гистограмму рис. 1.

Как видно из графика, увеличение скорости деформации алюминиевых сплавов от минимального до максимального значения приводит к повышению сопротивления деформации примерно в два раза, а более точно в 1,9; 1,7; 1,9 раза в порядке упоминания сплава. Соответственно этому увеличиваются энергетические затраты.

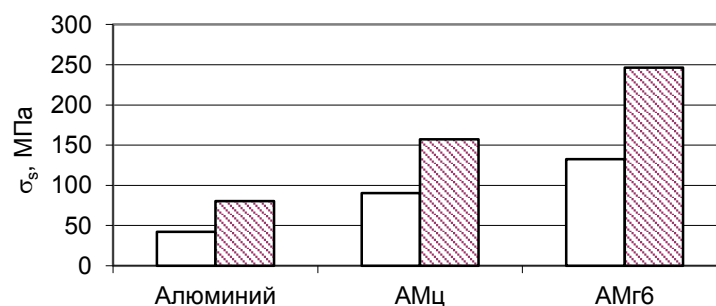


Рис. 1. Гистограмма минимальных (низкие столбцы) и максимальных (высокие столбцы) значений сопротивления деформации для некоторых алюминиевых сплавов при стабилизированных условиях прокатки

Рассчитанные выше параметры можно сопоставить с данными В.И. Зюзина и А.В. Третьякова, приведенными в книге [6]. В соответствии с методом термомеханических коэффициентов влияние скорости деформа-

ции описывается скоростным коэффициентом k_{ξ} , по которому можно выполнить оценку. Однако приведенный диапазон зависимости коэффициента k_{ξ} от скорости деформации оказывается заметно уже реального диапазона, характерного для производственных условий, поэтому приходится прибегать к процедуре экстраполяции, которая ничем не лучше приема аппроксимации кривой упрочнения. При экстраполяции, выполненной для сплава АМц, получим значения скоростного коэффициента k_{ξ} в пределах 0,8...1,35, т.е. его возрастание составит 1,7 раза, что было определено ранее расчетом по аппроксимированной кривой упрочнения.

Таким образом, выявлено, что за счет эффекта скоростного упрочнения в реальных производственных условиях можно ожидать повышения энергосиловых параметров прокатки некоторых алюминиевых сплавов от 70 до 90 %.

Выше были приведены данные, касающиеся самого алюминия и его сплавов, не подвергаемых термическому упрочнению. Более сложная ситуация складывается для другой группы сплавов, термически упрочняемых и обладающих эффектом структурного упрочнения. В ранних работах по описанию сопротивления деформации не делалось различия между этими группами сплавов. В частности, всегда строилась монотонная зависимость сопротивления деформации от скорости. Однако впоследствии выяснилось, что для последней группы сплавов при одних и тех же температурах, но при разных скоростях деформации может быть характерен эффект перевода деформации из области горячей в область теплой деформации. Несмотря на достаточно высокую температуру обработки, эти сплавы оказываются нерекристаллизованными. Направленные на изучение этого явления работы ВИЛС показали, что пониженная скорость деформации выступает в роли параметра, затрудняющего процесс рекристаллизации, поэтому обработка при малых скоростях, в том числе прокатки, приводит к более высоким значениям сопротивления деформации, а значит и к большим энергозатратам. В качестве примера можно привести кривые упрочнения широко распространенных марок дюралюминия Д1 и Д16 [1, с.133,]. В диапазоне температур 300...400°C кривые упрочнения при скорости деформации 10 (1/с) проходят выше, чем при скорости деформации 100 (1/с). Сказанное поясняется графиком, построенным по табличным данным источника [1].

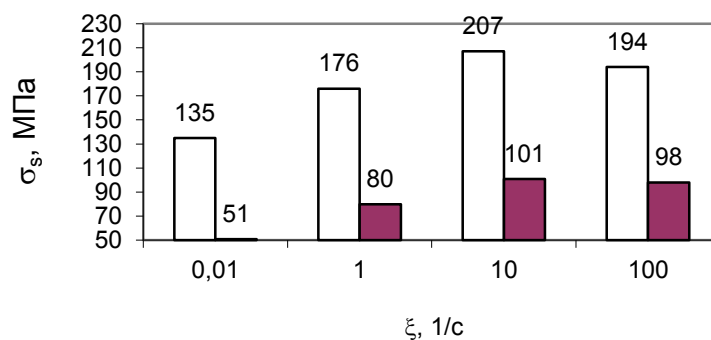


Рис. 2. Зависимость сопротивления деформации от скорости для дюралюминия Д16 (длинные столбцы) при температуре 300°С и Д1 (короткие столбцы) при температуре 400°С и $\varepsilon=0,2$

Очевидно, что при некоторых сочетаниях температуры, степени и скорости деформации можно обнаружить отсутствие влияния скорости деформации на процесс упрочнения. Вместе с тем, следует отметить, что приведенная трактовка указанного явления может быть поставлена под сомнение, поскольку эффект структурного упрочнения наблюдается при несколько меньших скоростях и больших температурах, но тогда тем более необходимо найти объяснение отмеченному явлению.

Другой эффект влияния скорости деформации на явления, происходящие при прокатке алюминиевых сплавов, заключается в следующем. Скорость деформации линейно зависит от скорости прокатки, которая может изменяться в одном проходе прокатки вследствие особенностей работы прокатного стана. Обычно для избежания ударов подвод заготовки к валкам осуществляют на заправочной скорости, вблизи этой скорости осуществляется захват и разгон стана вместе с заготовкой. На рис. 3 приведена реальная картина изменения динамических параметров работы реверсивного стана горячей прокатки при обработке слитка из алюминиевого сплава. Из графиков видно, что начало возрастания момента прокатки, характерное для захвата, происходит при небольшой скорости, а выброс заготовки на рольганг – при скорости, близкой к пиковому значению. В приведенном примере скорость прокатки одной и той же заготовки по ее длине изменилась в четыре раза, соответственно во столько же раз изменилась скорость деформации, поскольку толщина исходной заготовки, как и параметры очага деформации, не изменялись.

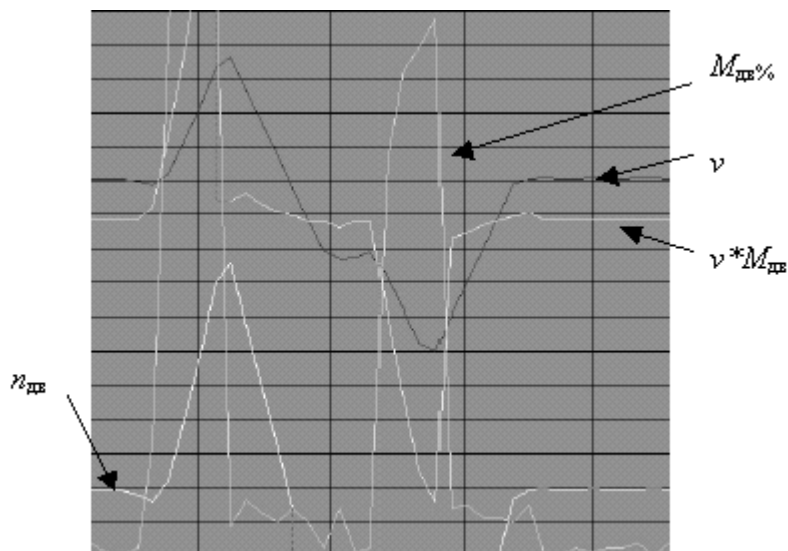


Рис. 3. Диаграмма реальных динамических характеристик прокатки: $M_{дв}\%$ – относительный момент; v и $n_{дв}$ – линейная и окружная скорость; $v * M_{дв}$ $n_{дв}$ – произведение момента на угловую скорость

Подобный анализ, выполненный для других проходов прокатки, показал, что разница в скоростях прокатки достигает семикратной величины, т.е. можно ожидать изменения скорости деформации примерно на порядок. При прокатке структурно упрочняемых алюминиевых сплавов прокатка при малой скорости может приводить к преобладанию процесса полигонизации по отношению к процессу рекристаллизации. Прокатка части заготовки при повышенной скорости может привести к обратному эффекту, поэтому прокатанная заготовка может иметь разнородную структуру, что является нежелательным явлением, поскольку приводит к нестабильности механических характеристик продукции.

Библиографический список

1. Колпашников, А.И. Прокатка листов из легких сплавов / А.И. Колпашников - М.: Металлургия, 1979. – 264 с.
2. Гун, Г.Я. Прессование алюминиевых сплавов / Г.Я. Гун, В.И. Яковлев, Б.А. Прудковский и др. М.: Металлургия, 1974. 356 с.
3. Логинов, Ю.Н. Анализ энергозатрат при горячей прокатке листовых полуфабрикатов из алюминия / Ю.Н. Логинов. Производство проката, 2005. - №4. - С.19-24.
4. Логинов, Ю.Н. Интенсивность скоростей деформации как управляющий фактор при прессовании алюминиевых сплавов со структурным

упрочнением Ю.Н. Логинов, О.Ф. Дегтярева /Современные достижения в теории и технологии пластической обработки металлов. СПб.: СПГПУ, 2007. - С. 359-363.

5. Бровман, М.Я. Сопротивление деформации в процессах обработки давлением при высоких температурах / М.Я. Бровман. Технология легких сплавов, 1980. - №8. - С. 26-30.

6. Зюзин, В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / В.И. Зюзин, А.В. Третьяков. - Челябинск: Металл: 1993. - 368 с.