

УДК 621.77.016.3

**И. В. Снегирёв**<sup>1</sup> Каменск-Уральский металлургический завод, г. Каменск-Уральский<sup>2</sup> Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург*igor\_snegirev@mail.ru*

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук Ю. Н. Логинов

**НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КРОМКИ  
ПРИ ПРОКАТКЕ ПОЛОСЫ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА**

Выполнен анализ напряженно-деформированного состояния кромки при прокатке полосы из алюминиевого сплава АМг3. Показано, что процесс может сопровождаться образованием трещин на кромках. Приведен характерный для процесса показатель напряженного состояния, а также обсуждены режимы пластической деформации.

*Ключевые слова:* алюминиевый сплав, пластичность, разрушение, плоский прокат, деформации, напряжения

**I. V. Snegirev****STRESSED-DEFORMED EDGE CONDITION WHEN ROLLING  
A STRIP FROM ALUMINUM ALLOY**

The analysis of the stress-strain state of the edge during the rolling of a strip of aluminum alloy АМg3 is performed. It is shown that the process can be accompanied by the formation of cracks on the edges. The stress state characteristic of the process is given, and plastic deformation modes are discussed.

*Key words:* aluminum alloy, ductility, fracture, flat products, deformations, stresses

**Х**олодная прокатка полос из алюминиевых сплавов часто связана с образованием трещин на кромках. Современная теория разрушения связывает образование трещин с неблагоприятным напряженным состоянием [1–3], которое оценивается показателем  $\sigma/T$ , здесь  $\sigma$  — среднее нормальное напряжение,  $T$  — интенсивность касательных напряжений.

Средние нормальные напряжения по центру тонкой полосы оказываются всегда более высокими (по модулю), чем по кромкам, поэтому

здесь есть опасность возникновения трещин, в отличие от прокатки толстой полосы [4], где трещинообразование может локализоваться в центре очага деформации. Применение уравнений теории пластичности применительно к описанию напряженного состояния на кромке проката приводит к значению  $\sigma/T = 0$ . При этом справедлива формула, с помощью которой оценивается возможное обжатие полосы без образования трещин на кромках [5]:

$$\frac{h_0}{h_1} < e^{\Lambda_p/2}, \quad (1)$$

где  $h_0$  и  $h_1$  — толщина листа до и после прохода;  $\Lambda_p$  — степень деформации сдвига до разрушения.

На рис. 1, *a* показан внешний вид трещин с левой (л) и правой (п) кромок рулона полосы толщиной 1 мм из алюминиевого сплава АМг3. Линии, проведенные вдоль оси прокатки, ограничивают дефектную часть кромки. Видно, что левая часть полосы имеет повреждения с большей протяженностью вдоль ширины полосы, чем правая часть. Зато с правой стороны количество трещин оказалось больше. Данный факт нуждается в дополнительном исследовании.

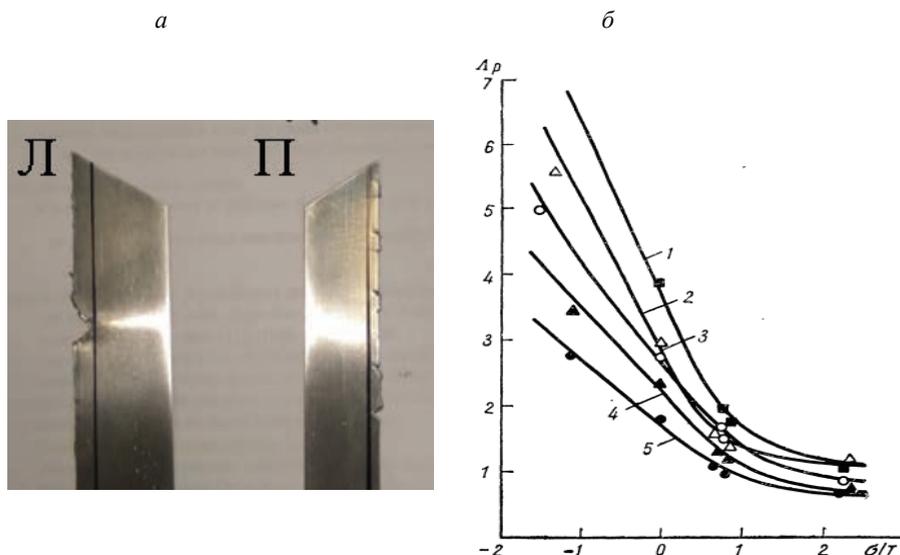


Рис. 1. Внешний вид трещин с левой (л) и правой (п) кромок рулона полосы (*a*) толщиной 1 мм из алюминиевого сплава АМг3 и диаграммы пластичности алюминиевых сплавов (*б*):

1 — АВ; 2 — АМг2; 3 — Д1; 4 — Д16; 5 — АМг5 В

На рис. 1, б показаны диаграммы пластичности некоторых алюминиевых сплавов, на которых видно, что опытные точки имеются при координате  $\sigma/\Gamma = 0$ , что соответствует схеме кручения образцов. Для сплава АМг2, как ближайшего аналога сплава АМг3, получим  $\Lambda_p = 2,9$ .

В соответствии с формулой

$$\Lambda = 2 \cdot \ln \left( \frac{h_0}{h_1} \right), \quad (2)$$

получим  $h_0/h_1 = 4,3$ . Это значит, полоса конечной толщиной 1 мм может быть прокатана из полосы толщиной 4,3 мм без разрушения. При наличии заготовки большей толщины потребуется применить промежуточный отжиг.

В настоящее время для производства листов из сплава АМг3 толщиной 1 мм используется горячекатаная заготовка толщиной 7 мм. Холодная прокатка проводится в 8 проходов по схеме изменения толщины 7,0–5,4–4,2–3,25–2,5–1,95–1,52–1,18–1,0 с наличием двух промежуточных отжигов на толщинах 3,25 мм и 1,5 мм.

Предельная пластичность сплава АМг3 при холодной прокатке, после достижения которой необходим промежуточный отжиг, в промышленной практике составляет  $\Lambda_p = 1,53$ . Превышение этого показателя может привести к росту трещин по кромкам и к обрыву во время процесса холодной прокатки.

Для сокращения производственного цикла, уменьшения трещин вдоль кромок и сокращения потерь металла при обрезке кромки можно уменьшить толщину г/к заготовки. Например, принимая во внимание предельную пластичность  $\Lambda_p = 1,53$  и конечную толщину листа 1 мм, толщина на которой необходимо производить промежуточный отжиг составляет 2,14 мм, а исходная толщина горячекатаной заготовки будет составлять 4,6 мм.

### Литература

1. The initiation and propagation of edge cracks of silicon steel during tandem cold rolling process based on the Gurson–Tvergaard–Needleman damage model / Y. Yuxi [et al.] // Journal of Materials Processing Technology. 2013. № 234. P. 598–605.

2. Максимов Е. А., Шаталов Р. Л. Исследование распределения натяжений на кромках прокатываемых полос, обусловленных дефектами «рваная кромка» и «трещина» // Производство проката. 2017. № 4. С. 37–40.

3. Зиновьев А. В. Формирование кромочных трещин в процессе прокатки металлического листа // Новости черной металлургии за рубежом. 2008. № 4. С. 51–52.

4. Логинов Ю. Н., Середкина М. Ю. Исследование скоростного режима прокатки сляба из алюминиевого сплава с использованием МКЭ // Технология легких сплавов. 2015. № 3. С. 121–126.

5. Колмогоров В. Л. Напряжения, деформации, разрушение. М. : Металлургия, 1970. 230 с.