

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ И НАПРЯЖЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ПРОКАТКИ ПРУТКОВ ИЗ СПЛАВА МАГНИЯ AZ31 НА ТРЕХВАЛКОВОМ ВИНТОВОМ СТАНЕ

ANALYSIS OF STRAIN AND STRESS DISTRIBUTION DURING ROLLING BARS OF AZ31 MAGNESIUM ALLOY IN THREE-HIGH SKEW ROLLING MILL

Анета Грыц, аспирантка*

Хенрик Дыя, проф., д.т.н.

Тереза Байор, к.т.н.

Мажена Каламож, аспирантка*

Ченстоховский Технологический Университет, Факультет инженерии процессов, материалов и прикладной физики, кафедра обработки металлов давлением и инженерной безопасности
ал. Армии Краевой 19, 42-200 Ченстохова, Польша;

е-mail: a_gryc@wip.pcz.pl

**Работа была выполнена в рамках проекта „DoktoRIS – Стипендиальная программа развития современной Силезии”*

Введение

Изменения на мировом рынке, связанные с развитием технологии продукции и применением более легких изделий с высокими механическими свойствами привели к заинтересованию легкими материалами, к которым относятся сплавы магния. Готовые изделия из сплавов магния находят все большее применение в разных отраслях промышленности: авиастроение, машиностроение, электротехнике, строительстве, производства бытовой техники и др. [1-4]. В основном применение находят литые изделия благодаря тому, что обработка давлением сплавов магния при комнатной температуре достаточно нетехнологична в связи с гексагональной плотноупакованной кристаллографической решеткой с отношением c/a близким к идеальному. В связи с этой зависимостью, сплавы магния при комнатной температуре имеют низкую деформируемость. А такая кристаллографическая структура приводит к анизотропии механических свойств при деформации [8].

Во многих исследовательских центрах проводятся исследования в области деформации сплавов магния напр. путем прокатки,ковки, прессования в повышенных температурах, что дает возможность получить материал с высокими механическими свойствами. Деформация сплавов AZ31 обычно проводится в температурном интервале: 250°C – 300°C при малых скоростях [5-7].

Соответствующее планирования и выбор технологических параметров процесса деформации являются важными условиями получения изделий с высокими механическими свойствами. В случае сплавов магния важным фактором, влияющим на улучшение пластичности является измельчение структуры в процессе деформации, что непосредственно влияет на повышение механических свойств готового изделия.

В работе представлены результаты математического моделирования процесса прокатки сплава магния (AZ31) на трехвалковом

винтовом стане со скоростью валков 25 и 50 об/мин.

Целью теоретических исследований было определение влияния скорости деформации на распределение интенсивности напряжения и деформации в поперечном сечении полосы в процессе прокатки на трехвалковом винтовом стане.

Материал и методика исследований

Исходным материалом для исследований был сплав магния AZ31 с химсоставом $Mg = 96,284\%$, $Al = 2,58\%$, $Zn = 0,99\%$, $Mn = 0,12\%$, $Nd = 0,005\%$, $Sb = 0,017\%$, $Fe = 0,002\%$ и $Si = 0,002\%$. Для проведения математического моделирования использовали компьютерную программу Forge3D, которая позволяет проводить пространственное моделирование с деформированным состоянием. Для проведения моделирования необходимым условием было определение параметров уравнения пластичности. Для этого были проведены пластометрические исследования с применением разных температурно-скоростных режимов. В связи с этим были проведены испытания на сжатие с применением системы моделирования металлургических процессов Gleeble 3800. Образцы диаметром $\phi = 10$ мм и высотой $h = 12$ мм подавали сжатию при температурах 200, 300 и 400°C при трех скоростях деформации (0,1; 1 и 10 s^{-1}). Полученные результаты представлены на рис. 1.

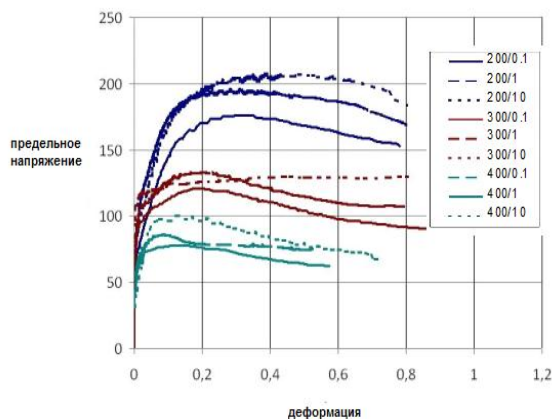


Рис. 1. Испытания на сжатие сплава магния AZ31

Полученные зависимости $\sigma = f(\epsilon)$ позволили определить требуемые параметры уравнения пластичности Хензеля-Шпиттеля (уравнение 1), которое описывает реологические свойства исследуемого материала. Рассчитанные коэффициенты уравнения Хензеля-Шпиттеля представлены в табл. 1.

$$\sigma_f = A_0^{m_1 T} T^{m_9} \epsilon^{m_2} \dot{\epsilon}^{m_4 / \epsilon} (1 + \epsilon)^{m_5 T} e^{m_7 \epsilon} \dot{\epsilon}^{m_3} \dot{\epsilon}^{m_8 T} \quad (1)$$

Таблица 1

Коэффициенты, определяющие реологические свойства сплава

Сплав	A_0	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6	m_7	m_8	m_9
AZ31	157	0.00447	0.107367	0.250335	- 0.016504	0.001125	0	- 0.000163	- 0.000643	0.167023

Математическое моделирование процесса прокатки на трехвалковом винтовом стане проводили для четырех температурно-скоростных режимов. Температура садки составила 250 и 300 °С, а окружные скорости вращения валков: 25 об/мин (вариант I) и 50 об/мин (вариант II). Кроме того, были заданы такие параметры процесса, как: диаметр валков – 60 мм, диаметр садки – 38 мм, коэффициент трения – 0,4, фактор трения – 0,8 и коэффициент теплообмена – 2000 Вт/м²К. Валки были установлены под углом $\alpha = 18^\circ$ к оси прокатки, рабочий валок был наклонен на $\beta = 9^\circ$ к оси вала [12÷13].

Распределение температуры, интенсивности напряжений и интенсивности деформации в очаге деформации проанализировано в трех плоскостях поперечного сечения полосы. Первая плоскость находится на $1/3$ (1-1) длины очага деформации, вторая – на $2/3$ (2-2) длины очага деформации, а последняя – в плоскости выхода (3-3) полосы из очага деформации, как представлено на рис. 2.

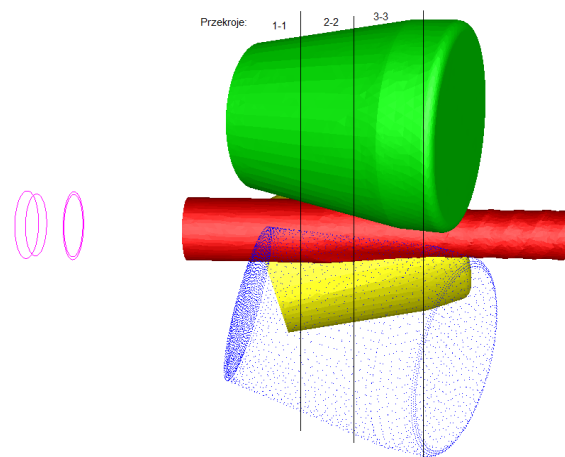


Рис. 2. Схема размещения секущих плоскостей в деформируемой полосе

Результаты исследований

Распределение температуры в материале при математическом моделировании процесса прокатки на винтовом стане при температуре садки 250°С для двух скоростей перемещения штемполя представлено на рис. 3.

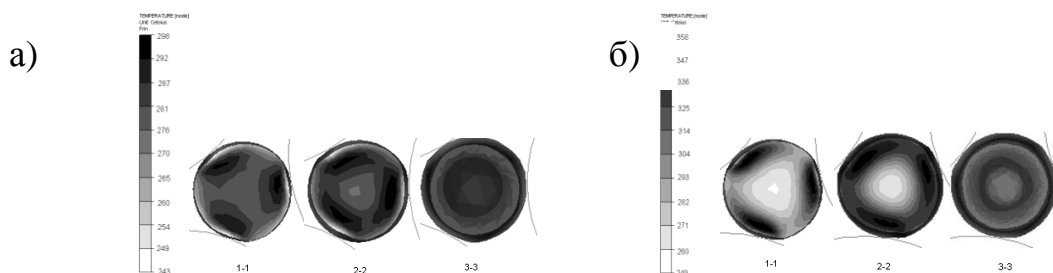
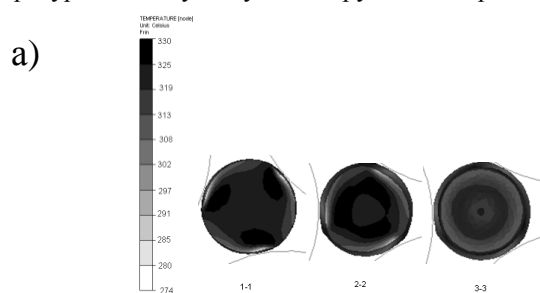


Рис. 3. Распределение температуры в поперечном сечении полосы при температуре садки 250°С для: а) варианта I, б) варианта II

На рисунке 4 представлено распределение температуры для двух случаев окружной скорости



вращения валков при температуре садки 300°C.

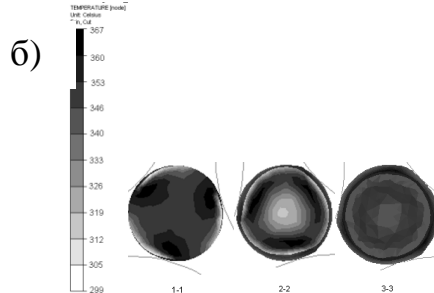


Рис. 4. Распределение температуры в поперечном сечении полосы при температуре садки 300°C для: а) варианта I, б) варианта II

Увеличение температуры садки до 300°C имело существенное влияние на поведение материала при деформации.

На рисунках 5 и 6 представлено распределение интенсивности деформации при

температуре садки 250 и 300°C соответственно в каждом поперечном сечении полосы для двух вариантов скорости.

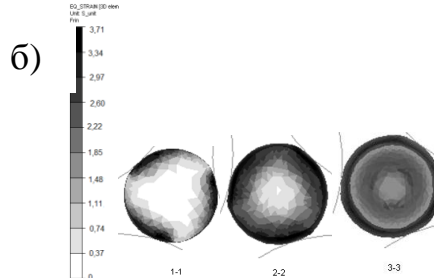
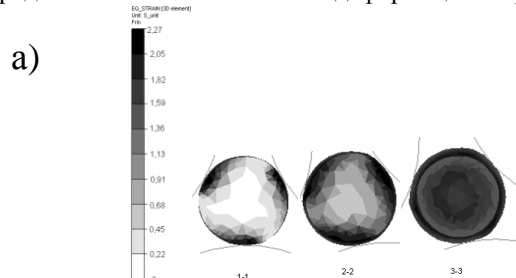


Рис. 5. Распределение интенсивности деформации для: а) варианта I, б) варианта II при температуре садки 250°C

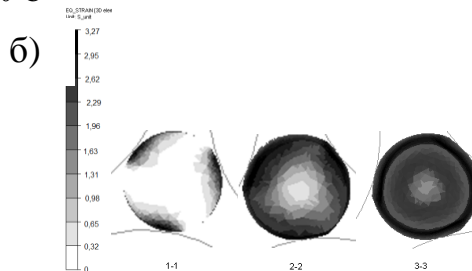
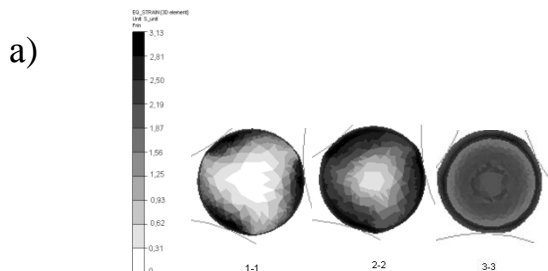


Рис. 6. Распределение интенсивности деформации для: а) варианта I, б) варианта II при температуре садки 300°C

На основании результатов исследований интенсивности деформации можно сделать вывод о том, что наибольшие значения интенсивности деформации наблюдались на 2/3 длины очага деформации на поверхности исследуемой полосы при каждом исследуемом варианте. На выходе из очага деформации интенсивность деформации

принимает такие же значения на поверхности, а в центральной части полосы наблюдается из увеличение.

На рисунках 7 и 8 представлено распределение интенсивности напряжений в каждом сечении деформируемого прутка при температуре садки 250 и 300°C соответственно.

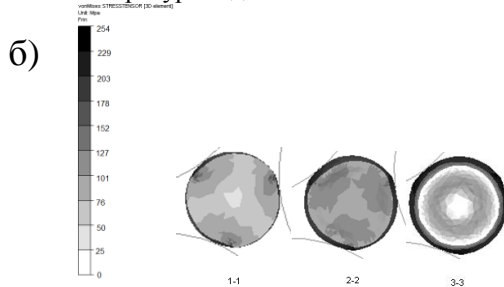
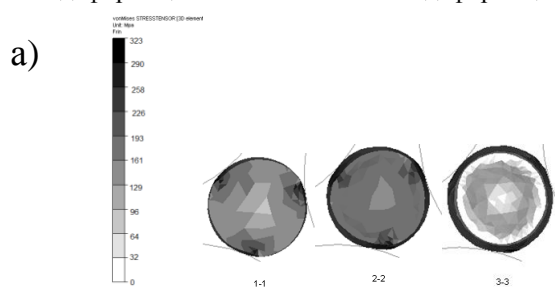


Рис. 7. Распределение интенсивности напряжений при температуре садки 250°C для: а) варианта I, б) варианта II

а)

б)

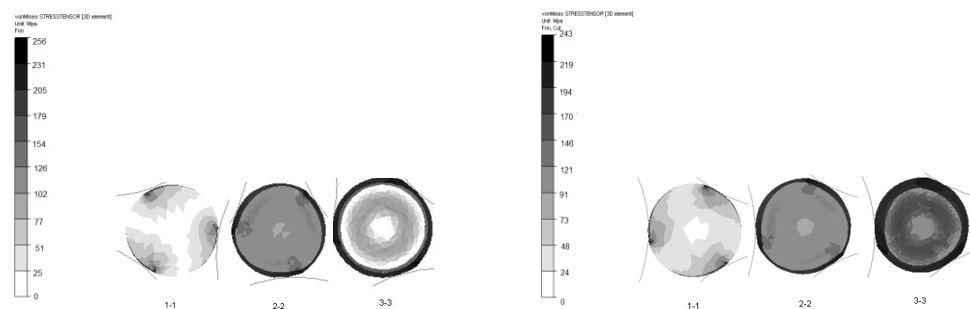


Рис. 8. Распределение интенсивности напряжений при температуре садки 300°C для: а) вариант I, б) вариант II

Из полученных данных видно, что наибольшие значения интенсивности напряжения наблюдаются в сечении 2/3 длины очага деформации. Незначительный рост значений наблюдается также в плоскости выхода полосы из очага деформации на поверхности исследуемой полосы.

Выводы

На основании полученных результатов теоретических исследований можно сделать вывод о том, что получение прутков из сплава магния AZ31 на трехвалковом винтовом стане может обеспечить получение прутков с повышенными механическими свойствами. Характерной чертой процесса прокатки на винтовом трехвалковом стане является возможность применения больших степеней обжатия при одном проходе.

Изменение окружной скорости вращения валков существенно влияет на непрерывность процесса. Увеличение температуры от 250 до 300°C влияет (в каждом сечении) на неравномерность распределения интенсивности деформации и напряжений в поперечном сечении исследуемого прутка. В результате увеличения окружной скорости вращения валков при температуре садки 300°C и окружной скорости вращения валков 50 об/мин интенсивность деформации и напряжений в центральной части полосы увеличилась на 7%.

Применение компьютерной программы Forge2008 позволило не только точно запроектировать процесс прокатки прутков на трехвалковом винтовом стане, но и оптимизировать его.

Список литературы

1. Yang Z., Li J.P., Zang J.X., Lorimer G.W., Robson J., Review on Research and Development of Magnesium Alloys, *Acta Metallurgica Sinica (Engl. Lett.)*, vol. 21, no.5, 2008, 313-328.
2. Watanabe H., Tsutsui H., Mukai T., Ishikawa K., Okanda Y., Kohzu M., Higashi K., *Materials Transactions* vol. 42, no.7, 2001, 1200-1205.
3. Nakasuji K., Karuda K., Hayashi C.: Development of Manufacturing Process of Clad Bar by Rotary Rolling, *ISIJ International*, Vol. 37, 1997, No. 9, 899-905.
4. Prasad Y.V.R.K., Rao K.P., *Material Science and Engineering A* 432, 2006, 170-177.

5. Maksoud I.A., Ahmed H.: *Material Science and Engineering A*, 504, 2009, 40-48.
6. Klimanek P., Potzsch A.: *Material Science and Engineering A*, 324, 2002, 145-150.
7. Yang Y., Wang F., Tan Ch, Wu Y., Cai H.: *TNMSC*, vol. 18, 2008, 12043-1046.
8. Chenot J. L. i inni: *Forgin and Related Technology*, Birmingham 1998, s. 113
9. Gavrus A., Massoni E., Chenot J. L. : An inverse analysis Rusing a finie element model for identification of rheological parameters, *Journal of Materials Processing Technology* 1996, vol. 60, s. 447 – 454.
10. Mordike B.L., Ebert T.: *Magnesium Properties-applications- potential*, *Materials Science and Engineering A302*, 2011, s. 37- 45.
11. Szota P., Mróz S., Sawicki S., Stefanik A.: Theoretical analysis of the Bimetallic Bars Rolling in Three-high Skew Rolling Mill Process, *Steel Research International*, Special Edition, Metal Forming 2008, Vol. 1, 2008, p. 403-409.
12. Sawicki S., Szota P., Mróz S., Dyja H.: Numerical modelling of the process of bimetallic bar rolling in a three-high skew rolling mill, *Computer Methods in Materials Science, Informatyka w Technologii Materiałów*, Vol. 9, 2009, No. 1, p. 130-136.