



УДК 621.9.022

**А.М. Песин, Д.О. Пустовойтов,  
М.П. Барышников, О.Д. Бирюкова,  
А.Е. Кожемякина, Л.В. Носов, Д.В. Грачев**  
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова»  
г. Магнитогорск, Россия  
E-mail: kozhemiakina.a@yandex.ru  
Дата поступления 01.08.2021

## ВОЗМОЖНОСТИ СТАНА 400 АСИММЕТРИЧНОЙ ПРОКАТКИ И РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА КУКА 160

### Аннотация

В конце 2020 г. - начале 2021 г. в лаборатории механики градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» был запущены в эксплуатацию уникальный, не имеющий аналог в Европе стан 400 асимметричной прокатки и роботизированный комплекс КУКА 160. Стан и роботизированный комплекс позволяют проектировать новые технологии теплой и холодной прокатки, а также инкрементальной штамповки.

**Ключевые слова:** стан асимметричной прокатки, роботизированный комплекс, инкрементальная штамповка, градиентная структура металлов

### Введение

На основе научного задела, сформированного коллективом ученых лаборатории механики градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» спроектирован и изготовлен не имеющий аналогов в РФ опытно-экспериментальный лабораторный стан дуо с индивидуальным приводом рабочих валков для реализации процессов асимметричной и аккумулирующей прокатки с максимально допустимым усилием прокатки 2500 кН (250 тс) и крутящими моментами  $2 \times 70$  кНм, что обеспечит возможность получения и испытания полноразмерных опытных образцов металлических наноматериалов. Стан асимметричной холодной прокатки, собранный в Южной Корее, по своим характеристикам является единственным в Европе и третьим во всем мире.

Технические характеристики опытно-экспериментального лабораторного стана дуо представлены в таблице 1. Общий вид конструкции и габаритные размеры представлены на рис. 1, 2. Все органы регулирования и контроля работы прокатного стана объединены на одном пульте управления с

сенсорной панелью и расположены на безопасном удалении от стана. Система управления прокатным станом обеспечивает мониторинг в режиме реального времени с цифровой (количественной) индикацией параметров технологического процесса. На данном стане можно обрабатывать как черные (сталь), так и цветные (алюминий, медь, титан) металлы и сплавы.

Таблица 1  
Технические характеристики  
опытно-экспериментального  
лабораторного стана дуо

Параметр	Значение
Тип	Реверсивный дуо с индивидуальным приводом рабочих валков
Нажимное устройство	Гидравлическое
Диаметр рабочих валков	340 мм
Длина бочек рабочих валков	400 мм
Усилие прокатки (max)	2500 кН (250 тс)
Крутящие моменты (max)	$2 \times 60$ кН·м
Мощность главного привода	$2 \times 75$ кВт
Толщина прокатываемых листовых заготовок	от 50 мм до 0,5 мм
Прокатываемые материалы	Al, Fe, Ti, а также другие металлы и сплавы с $\sigma_t$ до 1500 МПа
Реализуемые технологии	– симметричная прокатка; – асимметричная прокатка; – криогенная прокатка; – аккумулирующая прокатка;
Общая масса оборудования	20 тонн



Рисунок 1. Общий вид конструкции опытно-экспериментального лабораторного стана дуо с индивидуальным приводом рабочих валков для реализации процессов асимметричной и аккумулярующей прокатки

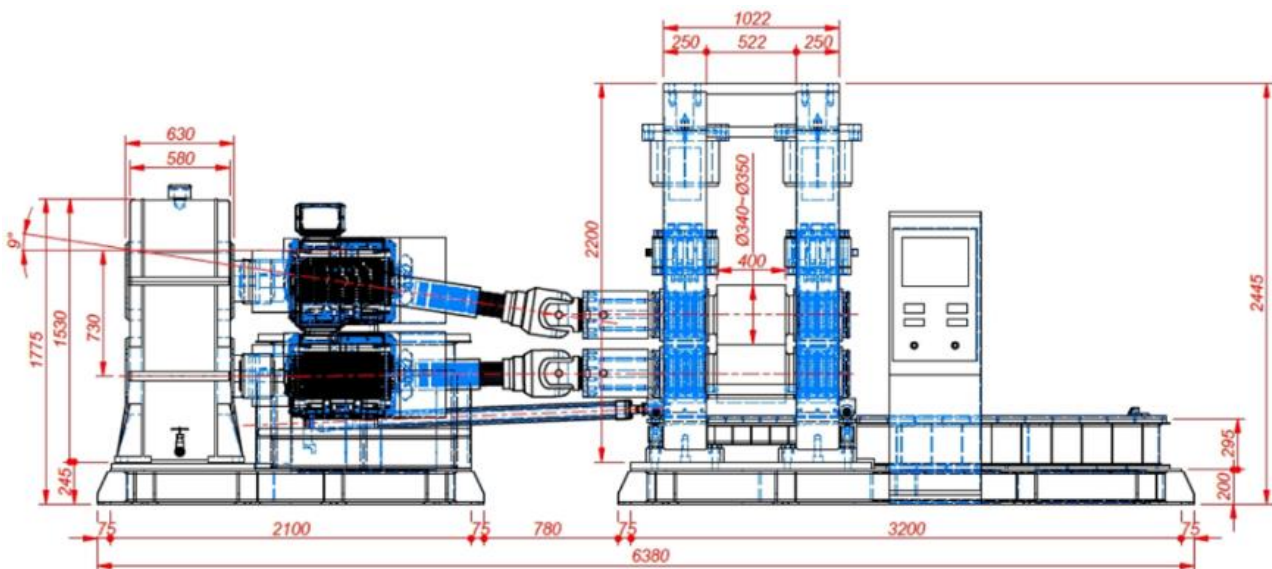


Рисунок 2. Габаритные размеры опытно-экспериментального лабораторного стана дуо с индивидуальным приводом рабочих валков

### Основная часть

Стан позволяет прокатывать образцы с обжатием 75-90% за один проход. В результате получается ультрамелкозернистая структура материала. Сравнение вариантов асимметричной и симметричной прокатки для стали 08Ю и сплава из алюминия Д16 представлено в таблице 2. и таблице 3.

Анализ таблиц показывает, что асимметричная прокатка стали 08Ю в валках со скоростями, отличающимися в 5 раз при прочих равных условиях, привела к одновременному увеличению обжатия с 50 до 80 % и уменьшению усилия почти в

3 раза за один проход по сравнению с симметричной прокаткой (рисунок 3). При этом твердость по Виккерсу возрасла почти на 44 %. При асимметричной прокатке происходит значительный разогрев металла в очаге деформации. На образце появляются цвета побежалости.

При симметричной прокатке образец из сплава Д16 разрушился при попытке обжать его на 56,6 % (рисунок 4). Увеличение разности скоростей валков до 6,67 раз приводит к увеличению обжатия до 89 %. Усилие прокатки при этом снижается в 3,26 раза. Металл сильно разогревается. При отношении скоростей валков 7,69 образец расплавился.

Таблица 2

Результаты симметричной и асимметричной прокатки стали 08Ю (начальные толщина 3 мм, ширина 25 мм, длина 100 мм, зазор между валками 0,9 мм)

Вид прокатки	Конечная толщина листа, мм	Относительное обжатие, %	Скорости валков, об/мин ( $V_1/V_2$ )	Усилие прокатки, кН	Твердость по Виккерсу, HV
Симметричная	1,5	50	6/6	800	172
Асимметричная	0,6	80	10/2	270	247
Примечание	Уменьшение толщины в 2,5 раза	Увеличение относительного обжатия в 1,6 раз		Уменьшен ие усилия в 2,96 раза	

Таблица 3

Сравнительная характеристика параметров симметричной и асимметричной прокатки образцов алюминия Д16 (начальная толщина 6 мм)

Образец	Усилие, кН	Установленный зазор между валками, мм	Скорость валков, $V_1/V_2$ , об/мин	Толщина после прокатки, мм	Твердость по Виккерсу, HV50
Симметричный	750	2,4	6/6	2,65	Образец разрушился
Асимметричный	400	0,9	2/10	0,8	Сторона А: 71,7 Сторона В: 75,0
	230	0,9	10/1,5	0,65	Сторона А: 67,0 Сторона В: 69,7
	-	0,9	10/1,3		Лист расплавился



Рисунок 3. Образцы после асимметричной и симметричной прокатки за один проход



Рисунок 4. Вид разрушенного при симметричной прокатке образца

Кроме стана асимметричной прокатки в лаборатории МГТУ им. Г.И. Носова установлен роботизированный комплекс инкрементальной штамповки KUKA 160 (рисунок 5). Технология позволяет работать с конструкционными, нержавеющей, высокопрочными и оцинкованными сталями, цветными металлами, титаном и с другими материалами. Основное отличие от традиционных технологий в том, что здесь не требуется изготовление дорогостоящего формоизменяющего инструмента и использование мощного прессового оборудования.



Рисунок 5. Общий вид конструкции роботизированного комплекса KUKA 160

Промышленный робот состоит из следующих компонентов:

- манипулятор;
- система управления роботом;
- переносное программирующее устройство;
- соединительные кабели;
- программное обеспечение;

– опции и принадлежности.

Принцип работы заключается в следующем, при запуске робота пуансон подводится к заготовке и начинает пошаговое формообразование заданной программой детали.

### Заключение

Новый стан 400 асимметричной прокатки позволит получать градиентные ультрамелкозернистые листы, обладающие одновременно высокими прочностью и пластичностью. Основной целью роботизированного комплекса KUKA является производство опытных партий изделий и прототипов.

Стан асимметричной прокатки и комплекс инкрементальной штамповки позволят одновременно решать научно-образовательные и опытно-производственные задачи.

### Благодарность

Исследование проводилось в рамках реализации Постановления Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. № 220 (договор № 075-15-2019-869 от 12 мая 2019 г.), за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20-69-46042 от 20.05.2020), а также при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90097 (договор №20-38-90097/20 от 03.09.2020).

### Библиографический список

1. Рааб Г.И. Перспективы использования методов интенсивной пластической деформации для получения высокопрочных металлических материалов в промышленных масштабах // Сборник материалов IV международной конференции «Деформация и разрушение материалов и наноматериалов». – М.: ИМЕТ РАН, 2011, С. 205-206.
2. Pesin A.M. Scientific school of asymmetric rolling in Magnitogorsk / Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2013. № 5 (45). С. 23-28.
3. Pesin A., Pustovoytov D., Korchunov A., Wang K., Tang D., Mi Z. Finite Element Simulation Of Shear Strain In Various Asymmetric Cold Rolling Processes /

- Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2014. № 4 (48). С. 32-40.
4. Pesin A., Pustovoytov D. Influence of process parameters on distribution of shear strain through sheet thickness in asymmetric rolling //Key Engineering Materials. Vol. 622–623. 2014. P. 929–935.
  5. Pesin A.M., Pustovoytov D.O., Biryukova O.D. The effect of speed asymmetry on the strain state in aluminium bimetals during accumulative rolling // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 2018, №1. P.1-4.
  6. Песин А.М., Бирюкова О.Д., Кожемякина А.Е. Новые технические решения при асимметричной прокатке, созданные на кафедре технологий обработки материалов/ Современные достижения университетских научных школ. Сборник докладов национальной научной школы-конференции. 2019. Магнитогорск. С. 49-55.
  7. Песин А.М., Пустовойтов Д.О., Бирюкова О.Д., Кожемякина А.Е. Асимметричная прокатка листов и лент: история и перспективы развития/ Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2020. Т. 20, № 3. С. 81–96
  8. Песин А.М., Пустовойтов Д.О., Пивоварова К.Г., Тандон П., Кожемякина А.Е. Особенности процесса аккумулялирующей прокатки многослойных металлических материалов/Теория и технология металлургического производства. 2020. № 3 (34). С. 31-36.
  9. Pesin A., Salganik V., Trahtengertz E., Cherniahovsky M., Rudakov V. Mathematical Modelling Of The Stress-Strain State In Asymmetric Flattening Of Metal Band / Journal of Materials Processing Technology. 2002. Т. 125-126. С. 689-694.
  10. Асимметричная тонколистовая прокатка: развитие теории, технологии и новые решения. учебное пособие / Салганик В.М., Песин А.М. – Москва, 1997.
  11. Салганик В.М., Песин А.М., Трахтенгерц Е.Л., Дригун Э.М., Смирнов П.Н., Куницын Г.А. Внедрение новых технологий асимметричной прокатки на ОАО "ММК"// Моделирование и развитие процессов ОМД. 2002. № 1. С. 128-133.
  12. Finite-element modeling of the strain state of aluminum alloys in process by the method of ARB. Biryukova O.D., Pustovoytov D.O., Pesin A.M. В книге: MAGNITOGORSK ROLLING PRACTICE 2019. Материалы IV международной молодежной научно-практической конференции. Под редакцией А.Г. Корчунова. 2019. С. 17-19

---

*Information about the paper in English*

**A.M. Pesin, D.O. Pustovoytov,**  
**M.P. Baryshnikov, O.D. Biryukova,**  
**A.E. Kozhemyakina, L.V. Nosov, D.V. Grachev**  
 Nosov Magnitogorsk State Technical University  
 Magnitogorsk, Russia  
 E-mail: kozhemiakina.a@yandex.ru  
 Received 01.08.2021

FUNCTIONALITY OF ASYMMETRIC ROLLING MILL 400 AND KUKA 160 ROBOTIC COMPLEX

**Abstract**

In late 2020 – early 2021 the Zhilyaev Laboratory of Mechanics of Gradient Nanomaterials at Nosov Magnitogorsk State Technical University commissioned unique asymmetric rolling mill 400, unparalleled in Europe, and KUKA 160 robotic complex. The mill and the robotic complex are used to design new technologies of warm and cold rolling, and incremental stamping.

**Keywords:** asymmetric rolling mill, robotic complex, incremental stamping, gradient structure of metals.

---