

**ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ РАЗНОСТИ ВЫТЯЖЕК ПО ШИРИНЕ ПОЛОСЫ ПРИ ПРОКАТКЕ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ АНИЗОТРОПНОЙ СТАЛИ НА ОБРАЗОВАНИЕ ДЕФЕКТА ГЕОМЕТРИИ
«ПРОДОЛЬНЫЙ НАДАВ»**

**THE INFLUENCE OF THE VALUE OF THE DIFFERENCE IN STRIP ELONGATION ACROSS THE
STRIP WIDTH IN THE ROLLING OF ELECTRICAL ANISOTROPIC STEEL ON THE FORMATION OF A
«LONGITUDINAL INDENTATION» GEOMETRICAL DEFECT**

М.П. Пузанов, Г.В. Быков, В.А. Шилов

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина».
620002, Россия, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19.

E-mail: kanc@urfu.ru.

Abstract

The paper investigates the reason for the formation of a «longitudinal indentation» geometrical defect. This defect occurs at the final stage of electrical anisotropic steel production. A hypothesis about the influence of the difference in the elongation across the strip width on the defect formation is proposed. An experiment to confirm this hypothesis is described. A proportional relationship has been found between the value of the elongation difference across the strip-width and the probability of a «longitudinal indentation» defect.

Электротехническая анизотропная сталь (ЭАС) – это листовая кремнистая сталь с ребровой текстурой, которая на сегодняшний день является основным материалом для производства магнитопроводов электротехнических машин. Показатели качества данной стали можно разделить на три основные группы: уровень физических свойств, качество геометрии и качество поверхности. На сегодняшний день в мире существует не более 15 серьёзных производителей ЭАС. Наиболее крупными из них являются NipponSteelCorporation (Япония), ThyssenKrupp (Германия), AKSteel (США) и ВИЗ-Сталь (группа компаний НЛМК, Россия). Анизотропная сталь, производимая компанией ВИЗ-Сталь, по уровню физических свойств не уступает зарубежным конкурентам, однако заметно проигрывает им в качестве геометрии. Анализ природы зарождения нестандартных дефектов геомет-

рии ЭАС необходим для правильной разработки методик устранения причин образования таких дефектов. Проблематика дефектов геометрии и плоскостности рулонной стали лежит в области прокатного производства, поэтому может служить объектом исследования в области обработки металлов давлением. Необходимо также отметить, что задачи, связанные с повышением качества геометрии ЭАС до мировых показателей, являются актуальными для современной российской металлургии в целом.

Дефект геометрии «продольный надав» представляет собой неглубокую вмятину борозду, тянущуюся по всей длине рулона на некотором расстоянии от кромки. На рис. 1 представлены фотографии дефекта при тяжелой степени выраженности.

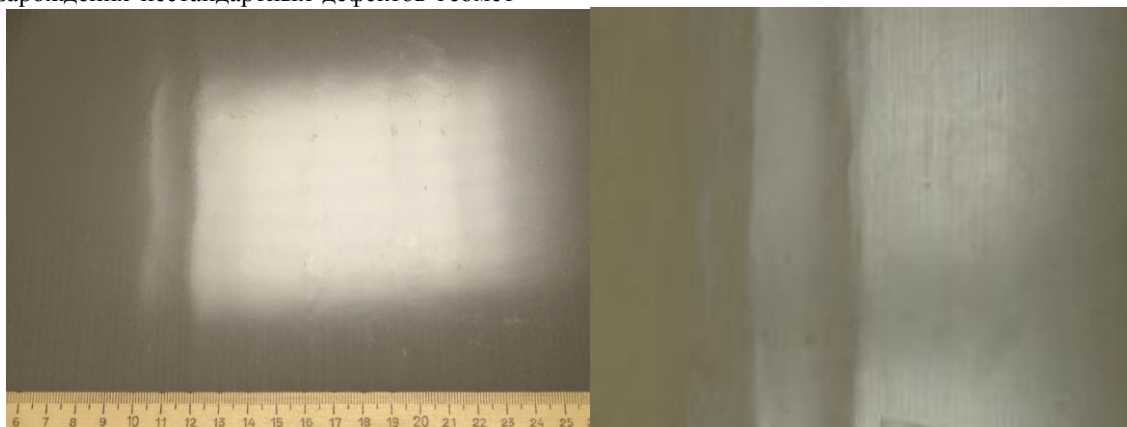


Рис. 1. Дефект геометрии «продольный надав»

Установлено, что дефект «продольный надав» образуется на агрегатах выпрямляющего отжига (АВО). Выпрямляющий отжиг является заключительной технологической операцией перед участком отделки при производстве ЭАС. Вследствие конструктивных особенностей АВО уровень выхода полосы из тянущих роликов, расположенных перед входом в печь, выше, чем уровень роли-

ков самой проходной печи. Данная особенность приводит к тому, что полоса задается на ролики печи агрегата сверху вниз. Замечено, что в силу неравномерного натяжения по ширине, связанного с состоянием и качеством настройки оборудования и других причин на данном участке агрегата, обе кромки и середина полосы всегда расположены на различных высотах, т.е. имеются провисы тех или

иных участков полосы. В тех случаях, когда полоса, находящаяся под натяжением, ложится на первый ролик печи не прямо, а с креном в сторону одной из кромок, происходит загиб этой кромки при контакте с роликом, а в месте загиба и образуется дефект «продольный надав». Загибанию кромки на ролике способствует корытообразный поперечный профиль полосы, который образуется после высокотемпературного отжига (ВТО). Предполагается, что образование корытообразного профиля полосы вызвано пластическими деформациями, происходящими в рулоне стали при ВТО. Пластические деформации при ВТО могут являться следствием остаточных напряжений в рулоне, влияние которых возрастает при снижении предела текучести стали в результате её нагрева при отжиге. Остаточные напряжения в рулоне остаются после холодной прокатки и смотки рулонов с определенным усилием на агрегатах нанесения термоизоляционного покрытия. Было выдвинуто предположение, что разность вытяжек по ширине полосы после холодной прокатки, сохраняющаяся в полосе в виде неплоскостности, является одной из причин образования внутренних напряжений в металле, а значит, и образования в дальнейшем дефекта «продольный надав».

В январе 2007 года на предприятии ВИЗ-Сталь началась реализация программы технического перевооружения производства. Главной целью данных мероприятий является освоение технологии производства высокопроницаемой ЭАС. Технология производства высокопроницаемой ЭАС требует осуществления холодной прокатки на конечную толщину в одну стадию. В настоящее время на ВИЗ-Сталь холодная прокатка осуществляется в две стадии на непрерывном стане 1300 и двадцативалковых станах 1200 с рекристаллизационным отжигом между ними. Летом 2012 года в рамках запланированных мероприятий по освоению технологии выпуска высокопроницаемой трансформаторной стали был завершён монтаж современного одно клетового реверсивного кварто стана холодной прокатки 1400 фирмы «AndritzSundwig». Новый стан 1400 предназначен для осуществления холодной прокатки ЭАС в одну стадию¹.

¹Пузанов М.П., Урицкий А.Г. Новый реверсивный кварто стан холодной прокатки 1400 и его использование при реконструкции цеха холодной прокатки ООО «ВИЗ-Сталь». /Материалы 6-й международной молодёжной научно-практической конференции «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении. Уральская научно-педагогическая школа имени профессора А.Ф. Головина» 2013. с 376-379.

На сегодняшний день, пока технология производства высокопроницаемой ЭАС находится на стадии разработки, в цехе холодной прокатки ВИЗ-Сталь стан 1400 используется совместно с двадцати валковыми станами для второй холодной прокатки. Было обнаружено, что на новом реверсивном стане кварто холодной прокатки 1400 доля дефекта «продольный надав» после второй холодной прокатки значительно превышает аналогичные значения для двадцати валковых станов 1200-1 и 1200-2. На основании данного явления было внесено предложение провести анализ планшетности стеновых партий металла, обрабатываемого на стане 1400, с целью исследования влияния разности вытяжек по ширине полосы на образование дефекта «продольный надав». Важно отметить, что поскольку новый стан предназначен под выпуск высокопроницаемой ЭАС с лучшими на сегодняшний день показателями физических свойств, то его работа должна быть отлажена так, чтобы обеспечить требуемое качество геометрии для данного типа продукции. Высокопроницаемая ЭАС не должна иметь серьёзных дефектов геометрии, а на сегодняшний день дефект «продольный надав» является основной проблемой в этой области.

Для оценки влияния разности вытяжек по ширине полосы на образование дефекта «продольный надав» по журналу производства отбирались стеновые партии металла, которые подвергались второй холодной прокатке на стане 1400. На каждом рулоне от всех отобранных партий в трех характерных точках (начало, середина и конец полосы) измерялась максимальная разность вытяжек по ширине полосы. Также замеры проводились на участках, где разность вытяжек отличалась от общей картины. В данной работе величина вытяжки по ширине является характеристикой неплоскостности полосы и измеряется специальной величиной «I-Unit». Известно, что неплоскостность образуется из-за неравномерной вытяжки по ширине. Неравномерная вытяжка приводит к тому, что те или иные участки по ширине полосы получаются длиннее других, за счет этого и образуется волна или короб. В идеальном случае, когда вытяжка по ширине в каждой точке одинакова, полоса будет абсолютно плоской и все её участки вдоль ширины будут одной длины. В реальности полоса после прокатки всегда неплоская, то есть какие-то участки по её ширине вытянуты больше, какие-то – меньше. В таком случае удобно характеризовать неплоскостность полосы в виде отклонений от идеального случая, выраженных в мм/м. Один I-Unit равен 0,01 мм/м и показывает, что каждый метр соответствующего участка полосы (например, кромки) длиннее на 0,01 мм, чем в случае, когда вытяжка по ширине полосы была бы постоянной. Замер максимальных разностей вытяжек по ширине полосы производился в последнем проходе со стороны привода и со стороны обслуживания стана по данным стрессометра, которым оборудован стан 1400. На рис. 2 в качестве примера представлены показания стрессометра на пульте управления станом 1400 для

полосы имеющей волну по кромкам. Красной линией обозначен требуемый профиль полосы, который задает оператор стана. Неравномерность вытяжек по ширине представлена в виде гистограмм-

мы. Количество столбиков (измерений вытяжек по ширине) определяется количеством тензо датчиков, расположенных вдоль бочки стрессометра.

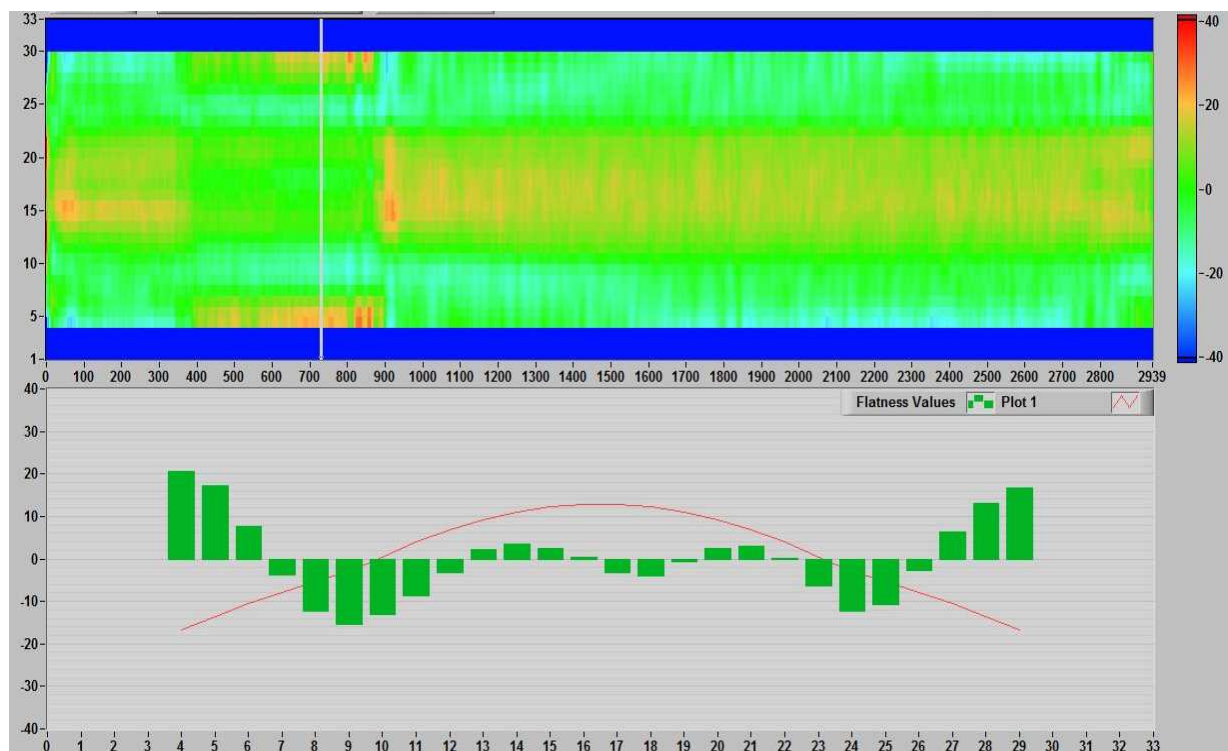


Рис. 2. Показания стрессометра для полосы с волной по кромкам

В дальнейшем с помощью специальной учетной программы PSIMetals осуществлялся анализ качества данного металла после обработки на АВО. В том случае, если одна из сторон сечения с измеренной на стане разностью вытяжек по ширине попадала на участок полосы, где после обработки на АВО имелся дефект «продольный надав», то ей присваивалось значение «1», в обратном случае – «0». Для дефектных участков, которые не попали в характерные сечения, показания стрессометра снимались отдельно. Дефектные участки в самом начале и конце полосы игнорировались как нерепрезентативные. Таким образом собиралась статистическая выборка для эксперимента.

В ходе эксперимента был произведен анализ 29 стеновых партий, каждая из которых состояла

из 6 рулонов. Для проведения статистического анализа значения разниц вытяжек по ширине полосы были сгруппированы в интервалы с определенным шагом. В тех случаях, когда общее количество участков в интервале было сравнительно мало, он объединялся со смежным интервалом. Для каждого интервала было вычислено значение вероятности появления на нём дефекта «продольный надав». Вероятности появления дефекта определялись как частота происхождения события, то есть процентным отношением количества замеров с выявленным на них дефектом к общему числу замеров в интервале. В табл. 1 представлены результаты проведенного анализа.

Таблица 1

Вероятность появления дефекта «продольный надав» в зависимости от значения разности вытяжек по ширине полосы

I-Unit*	Кол-во замеров, ед.	Выявлен дефект, ед.	Вероятность, %
0-29	319	25	7.8
30-39	444	54	12.2
40-49	193	50	25.9
50-59	78	14	17.9
60-69	37	11	29.7
70-89	16	4	25.0

*I-Unit = 0,01 мм/м.

По данным, представленным в табл. 1, видно, что с ростом величины разности вытяжек по ширине полосы возрастает и вероятность появления дефекта «продольный надав». Из сказанного выше следует, что образование дефекта «продольный надав» находится в прямо пропор-

циональной зависимости от разности вытяжек по ширине. С целью определения типа функциональной зависимости по данным табл. 1 был построен график, представленный на рис. 3. Для аппроксимации был выбрана степенная функция.

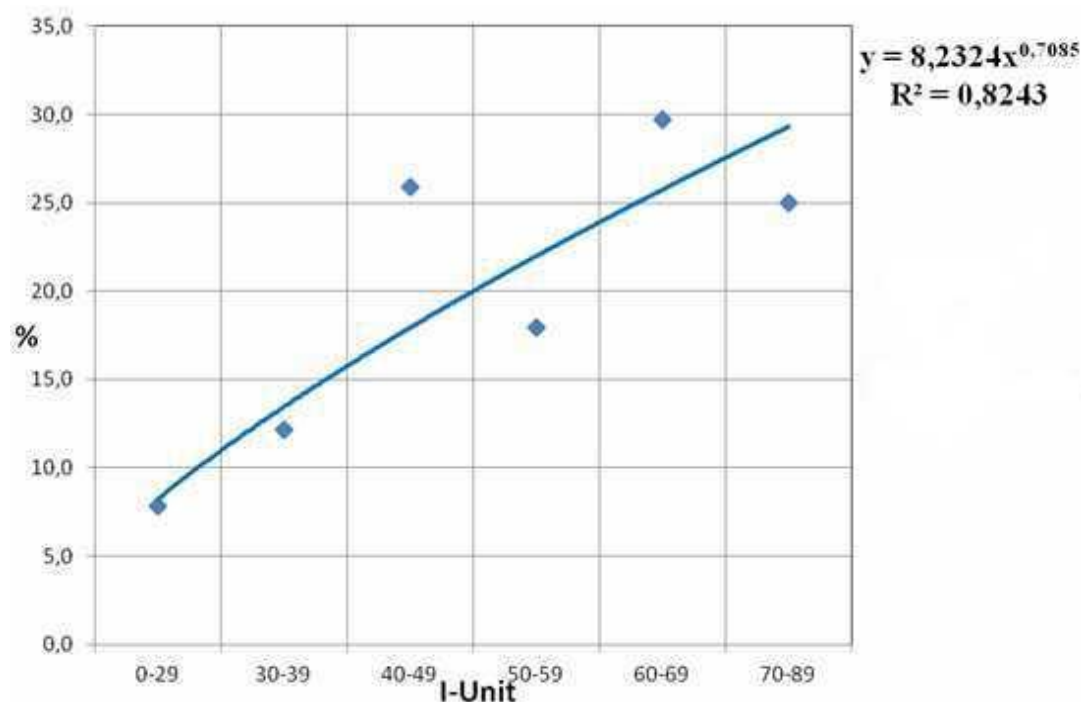


Рис. 3. Регрессия зависимости вероятности образования дефекта «продольный надав» от величины разности вытяжек по ширине полосы

На рис. 3 приведена формула, аппроксимирующая данную зависимость, и значение коэффициента детерминации R^2 . Видно, что значение коэффициента детерминации является высоким, следовательно, можно утверждать о наличии достаточно тесной статистической зависимости.

Таким образом, в данном эксперименте выявлена прямопропорциональная зависимость между величиной разности вытяжек по ширине полосы и образованием дефекта геометрии «продольный надав». Установлено, что зависимость имеет степенной характер. Описано, как полученная при прокатке неплоскостность может проявляться на конечных переделах в виде серьёзных дефектов геометрии, сильно снижающих качество рулонной стали. В работе выдвинуты предположения о механизме появления дефекта «продольный надав», показана многофакторность его образования.