

ской характеристикой значения. В то же время значения момента и мощности прокатки находятся в пределах допустимых.

3. Предложено, что снять ограничения по усилиям прокатки можно перераспределением обжатий по клетям стана.

После изменения режима обжатий в перегруженных клетях и переноса части деформации в другие клетки ограничения были устранены.

Таким образом, изменение режима обжатий позволяет производить указанный арматурный профиль №10 из стали марки 25Г2С оптимального состава, получаемый методом прокатки-разделения на пять ниток из заготовок сечением 140x140 мм с сохранением существующего на стане температурно-скоростного режима прокатки и не требует изменения конструктивно-структурного состава стана.

4. Результаты расчетов показали, что наиболее оптимальной температурой конца прокатки для осуществления последующей термомеханической обработки проката с целью получения заданного комплекса свойств (оптимального соотношения прочностных и пластических свойств) готового арматурного проката из стали марки 25Г2С является 1000 °С.

При этой температуре конца прокатки и температура самоотпуска (порядка 425-430 °С) является оптимальной для термомеханически упрочненного арматурного проката диаметром 10 мм класса прочности Ат800.

5. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных, полученных при производстве термомеханически упрочненного арматурного проката из стали марки 25Г2С показало удовлетворительную сходимость прогнозируемых и фактических значений механических свойств.

Список литературы: 1. Теория прокатки / Целиков А.И., Томленов А.Д., Зюзин В.И. и др. Справочник. - М.: Металлургия, 1985. - 235 с. Е.С. Глуховский. Новые технологические решения в проектах сортопрокатных цехов // Черная металлургия: Бюл. ин-та "Черметинформация". М.- 1999. - № 7. - 8 - С.36-39. В.С. Медведев, Ю.Б. Крюков, В.В. Осипенко. Сортопрокатные станы // Металлург. 2005. Спецвыпуск. С.18-21. Л.А. Никитина, Б.Н.Матвеев. Перспективные технологии, используемые в производстве прутков и катанки за рубежом // Черная металлургия: Бюл. ин-та "Черметинформация". М. - 2003. - № 3. - С.36-44. Мадатян С.А. Арматура железобетонных конструкций. – М.: Воентехлит, 2000. - 256 с. Никитина Л.А. Состояние и перспективы развития производства проката в России и за рубежом // Производство проката. – 2000. - №11. С.2-10. Производство термомеханически упрочненной стержневой арматуры / Д.Н. Макаров, Е.Н. Колельков, А.П. Диденко, А.А. Пьянков // Сталь. – 2008. - № 3. С.53-55.

УДК 669.015

ЧИГИРИНСКИЙ В.В., докт. техн. наук, проф., ЗНТУ, г. Запорожье

ДУБИНА В.И., канд. техн. наук, проф., ЗНТУ, г. Запорожье

МИСНИК Е. Н., студентка, ЗНТУ, г. Запорожье

ЭФФЕКТЫ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Рассмотрены эффекты пластической деформации. Эффект дополнительного воздействия на очаг деформации и эффект кинематического воздействия на зону пластического течения металла.

Ключевые слова:

Очаг деформации, прокатка, линейки, полоса, момент.

Розглянуто ефекти пластичної деформації. Ефект додаткової дії на осередок деформації і ефект кінематичної дії на зону пластичного течія металу.

Ключові слова:

Вогнище деформації, прокатка, лінійки, смуга, момент.

Considered effects of plastic deformation. Effect of the additional affecting hearth of deformation and effect of the kinematics affecting area of plastic flow of metal.

Key words:

Hearth of deformation, rolling, lines, bar, moment.

1. Введение

Особенностью дополнительного воздействия на очаг деформации является то, что усилие этого воздействия меньше основного усилия, связанного с пластическим формоизменением в зоне течения металла. Эффект кинематического воздействия на зону пластического течения проявляет себя в создании условий, при которых снижается усилие прокатки, контактные давления.

2. Постановка проблемы

При разработке новых процессов и технологий необходимо знать общие закономерности пластического течения материала, их особенности. Реальные процессы всегда сопровождаются неоднородностью пластического течения, вызванные разными причинами. Считается, что неравномерность деформации является отрицательным фактором, который увеличивает энергозатраты, износ оборудования, ухудшает качество изделий, их точность. Изучение влияния неоднородности пластического течения на кинематические и силовые параметры процесса представляет не только теоретический, но и практический интерес.

Рассмотрим два эффекта пластической деформации в условиях неравномерного напряженно-деформированного состояния – это эффект дополнительного воздействия на очаг деформации и эффект кинематического воздействия на зону пластического формоизменения.

Эффект дополнительного воздействия на очаг деформации

Эффект заключается в том, что усилие дополнительного воздействия на очаг деформации меньше, чем усилие вызвавшее пластическое течение в зоне формоизменения. При прокатке или прессовании свинцовой полосы передний конец можно искривлять рукой, не испытывая при этом значительного сопротивления. Если процесс деформации остановить то, усилия, которое необходимо приложить к полосе для ее деформирования будут намного больше.

Использование дополнительного воздействия на очаг может себя оправдать при реализации необходимых технологических операций. Покажем это на примере исследовании давления внешних частей полосы на боковые линейки, в условиях несимметричного обжатия по ширине. Дополнительное воздействие представляет воздействие боковых линеек на внешние части полосы, которые, в свою очередь, на очаг деформации со стороны входа и выхода. Это воздействие приводит к изменению кинематических и силовых параметров. Кинематический эффект заключается в выравнивании вытяжек по ширине и высоте полосы, а силовой в появлении дополнительных напряжений, определяющих напряженное состояние отдельных элементов профиля и полосы в целом.

Для подтверждения этого факта был поставлен эксперимент на стане 150. Прокатывались несимметричные ступенчатые полосы, рис. 1 с различными отношениями B_1 / B_0 и $\eta_{min} / \eta_{max} = H_1 / H_0$. Для замера давления полосы на линейки были сконструированы и изготовлены роликовые линейки и месдозы балочного типа. Последние воспринимали усилия со стороны полосы через линейки. Образцы изготавливались из свинца прессованием. Прокатывалось несколько партий образцов с разными размерами заготовки. Отношения B_1 / B_0 и H_1 / H_0 находились в пределах 0,50...0,93 и 0,65...0,91.

После обжатия участки имели одинаковую толщину. В каждой партии использовалось по четыре образца с различным отношением B_1 / B_0 . Они имели примерно одинаковое отношение H_1 / H_0 и высоту до прохода. Анализ показывает, что силы со стороны вводной и выводной линеек разные. Со стороны входа давление в 2,0 ... 2,6 раза больше, чем со стороны выхода.

С увеличением неравномерности обжатия, увеличивается воздействие полосы на линейки. Из таблицы 1 следует, что при отношениях $B_1 / B_0 = 0,93$ и $H_1 / H_0 = 0,73$ давления на входе и выходе со стороны линеек равны 932,0 и 376,0 Н. При отношениях 0,52 и 0,77 силы возрастают до 1783,0 и 770,0 Н.

Давления, действующие со стороны входа, находятся в пределах 480,0...1952,0 Н. Со стороны выхода - 212,0...838,0 Н. Моменты сил в пределах 40,5...162,0 Нм со стороны входа. Со стороны выхода 30,5...120,9 Нм.

Величина момента со стороны линеек определяется дополнительными напряжениями, возникающих в результате неравномерного обжатия по ширине профиля. Соответствующие сечениям пластические моменты изгиба колеблются в пределах, на входе 152,0...234,2 Нм, на выходе 97,9...197,5 Нм, что как видно значительно больше экспериментальных значений, см табл. 1.

В работе [1] рекомендуется пользоваться отношением $M_{экс} / M_{пл}$, так как оно не зависит от предела текучести и абсолютных размеров полосы, и определяется параметром δ , который характеризует величину момента со стороны линеек. Обработав экспериментальные данные, представленные в таблице 1, получена зависимость момента со стороны линеек от параметра δ , т.е. вида $M = f(\delta)$, [1]. Сопоставление экспериментальных значений моментов и моментов пластического изгиба показывает их значительную разницу. В первом случае моменты представляют собой фактор воздействия на очаг деформации при пластическом течении металла в зоне обжатия. Во втором – при ее отсутствии в зоне формоизменения.

Дальнейший анализ показывает, что при прокатке напряжения сжатия и растяжения на входе и выходе из очага деформации не достигают своего максимального значения равного пределу текучести. Они определяются величиной напряжений, достаточных для выравнивания вытяжек по ширине и высоте очага деформации. Следовательно, моменты со стороны линеек находятся в соответствии с дополнительными напряжениями, возникающих в результате неравномерного обжатия по ширине профиля и полосы.

Данный эффект имеет место при совмещении операций, сопровождающихся пластической деформацией. Например, завивка полосы в обечайку при одновременном ее поперечном изгибе.

Экспериментальные значения сил и моментов со стороны боковых линеек

№/№	$\frac{B_1}{B_0}$	$\frac{H_1}{H_0}$	Значения сил $P_{вх}$ и $P_{вых}$		Значения моментов сил $M_{вх}$ и $M_{вых}$ Нм		Отношения $\frac{P_{вх}}{P_{вых}}$	Отношения $\frac{M_{вх}}{M_{вых}}$
			Вход	Выход	Вход	Выход		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,91	0,87	628,0	275,0	53,60	39,5	2,3	1,4
2	0,78	0,83	1080,0	490,0	91,5	70,6	2,2	1,3
3	0,62	0,87	1115,0	487,0	96,1	70,2	2,3	1,4
4	0,52	0,91	1051,0	485,0	93,6	69,8	2,2	1,3
1	0,93	0,73	932,0	376,0	75,6	54,1	2,5	1,4
2	0,77	0,76	1340,0	550,0	110,7	79,2	2,5	1,4
3	0,62	0,72	1952,0	780,0	162,0	112,3	2,5	1,4
4	0,52	0,77	1783,0	770,0	153,0	111,0	2,3	1,4
1	0,92	0,88	564,0	250,0	48,5	36,0	2,3	1,3
2	0,77	0,88	955,0	390,0	83,2	56,2	2,5	1,5
3	0,62	0,83	1210,0	563,0	105,0	81,0	2,2	1,3
4	0,52	0,80	1500,0	689,0	132,6	99,4	2,2	1,3
1	0,92	0,76	772,0	319,0	62,4	46,5	2,4	1,4
2	0,77	0,75	1225,0	478,0	100,2	69,0	2,6	1,5
3	0,62	0,75	1805,0	786,0	151,2	113,2	2,3	1,3
4	0,52	0,74	1860,0	838,0	157,5	120,9	2,2	1,3
1	0,93	0,66	680,0	257,0	55,5	37,0	2,6	1,5
2	0,77	0,65	1255,0	505,0	104,0	72,8	2,5	1,4
3	0,63	0,67	1290,0	520,0	109,8	74,9	2,5	1,4
1	0,91	0,80	502,0	212,0	42,3	30,5	2,4	1,4
2	0,75	0,83	840,0	378,0	71,6	54,5	2,2	1,3

Эффект кинематического воздействия на очаг деформации

Эффект кинематического воздействия на очаг деформации заключается в изменении напряженного состояния среды за счет кинематики течения металла, что проявляет себя в снижении силы пластического формоизменения в условиях неравномерного обжатия.

Дополнительные напряжения, вызванные кинематикой течения металла, могут изменить силу прокатки. Кинематическое воздействие может повлиять на полное давление, если его влияние на напряженное состояние отдельных элементов будет разное. Данное предположение было проверено экспериментальным путем на лабораторном стане 210. Прокатывались полосы в условиях неравномерной деформации по ширине. Прямоугольные заготовки задавались в калибр с разной геометрией центральной части, рис.2

При этом фиксировалось усилие прокатки. Разные параметры «волны» определяли разную ширину центрального элемента и, следовательно, разную поперечную деформацию. Отсюда, разную величину продольного взаимодействия, табл. 2. Отличие варианта *a* от *b* заключается в том, что при

Таблица 2

Экспериментальные значения относительных усилий прокатки в зависимости от коэффициента поперечной деформации.

Толщина, H мм	Отношение S_1 / S_0	Коэффициент поперечной деформации B'_1 / B_1			
		1,00	1,06	1,08	1,11
		Отношение сил P_1 / P_0			
2,0	0,42	1,00	0,94	0,92	0,90
	0,50	1,00	0,95	0,94	0,90
	0,80	1,00	0,96	0,94	0,89
3,0	0,42	1,00	0,94	0,93	0,89
	0,50	1,00	0,94	0,93	0,90
	0,80	1,00	0,95	0,94	0,89
4,0	0,42	1,00	0,96	0,94	0,91
	0,50	1,00	0,97	0,96	0,90
	0,80	1,00	0,96	0,95	0,82
5,0	0,42	1,00	0,96	0,95	0,92
	0,50	1,00	0,97	0,97	0,91
	0,80	1,00	0,96	0,96	0,94
6,0	0,42	1,00	0,97	0,95	0,92
	0,50	1,00	0,98	0,97	0,92
	0,80	1,00	0,99	0,97	0,93
7,0	0,42	1,00	0,96	0,94	0,92
	0,50	1,00	0,98	0,97	0,92
	0,80	1,00	0,98	0,97	0,93

одинаковой неравномерности деформации по ширине, отношение h_1 / h_2 , продольное взаимодействие участков 1 и 2 разное из-за неодинакового стремления металла течь в длину 1-го элемента. Продольная деформация определяется не только коэффициентами деформаций H / h_2 и H / h_1 , но и поперечной деформацией каждого элемента. Для элемента 1, за счет кинематики течения металла искусственно формируется большая ширина центрального участка (волнообразная форма). Следовательно, в элементе с большим обжатием, необходимо больше металла «перегнать» в ширину в сравнении с вариантом b . Это ограничивает стремление металла течь в длину, что изменяет коэффициенты частной и средней вытяжек и, в общем, отношение $\ln \mu_{cp} / \mu_k$, характеризующее взаимодействие элементов профиля. Уменьшается продольный подпор, возможно изменение знака дополнительного напряжения 1-го элемента. Уменьшается контактное давление. В элементе 2, где обжатие меньше произойдет увеличение коэффициента подпора, либо за счет уменьшения растягивающих дополнительных напряжений, либо за счет появления продольных сжимающих напряжений. Т.к. обжатия элементов разные, то следует ожидать разное изменения контактных давлений смежных участков полосы. Если эта разница давлений достаточная, то ее можно зафиксировать экспериментально месдозами. Величины P_0 и P_1 - обозначают полные давле-

ния металла на валки, которые возникают при прокатке профилей с разной геометрией центральной части (ровная и волнообразная).

Таким образом, регулируя кинематику течения металла процессом пластической деформации можно управлять.

Полученный результат представляет собой количественную модель эффекта, который дает новые технологические возможности прокатки сортовых профилей разного назначения. Снижение давления на валки приводит к уменьшению пружины клетки и, отсюда, уменьшению толщины раската. Появляются условия для прокатки тонкостенных профилей, за счет появившейся возможности «выдавить» профиль по толщине.

Список литературы: 1. Чигиринский В.В. Экспериментальное исследование моментов сил при стремлении полосы к искривлению на входе в очаг деформации и выходе из него // Изв.вузов. Черная металлургия.-1983.-№11.- С.85-88.

УДК 669.013

СТАЛИНСКИЙ Д.В., докт. техн. наук, УкрГНТЦ «Энергосталь»,
РУДЮК А.С., канд. техн. наук, УкрГНТЦ «Энергосталь», г. Харьков
МЕДВЕДЕВ В.С., канд. техн. наук, УкрГНТЦ «Энергосталь»,
КРЮКОВ Ю.Б., УкрГНТЦ «Энергосталь», г. Харьков

ВОПРОСЫ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ СОЗДАНИИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МИКРО-ЗАВОДОВ

Рассмотрены вопросы ресурсосбережения и энергоэффективности при создании металлургических микрозаводов. Определены рациональные пути экономии энергетических и материальных ресурсов, дан анализ наиболее перспективным энерго- и ресурсосберегающим технологиям производства фасонных профилей малотоннажными партиями.

Ключевые слова: микрозавод, экономичные профили, малотоннажные партии, ресурсосбережение, энергоэффективность

Розглянуто питання ресурсозбереження й енергоефективності при створенні металургійних мікрозаводів. Визначено раціональні шляхи економії енергетичних і матеріальних ресурсів, даний аналіз найбільш перспективним енерго- і ресурсозберігаючим технологіям виробництва фасонних профілів малотоннажними партіями.

Ключові слова: мікрозавод, економічні профілі, малотоннажні партії, ресурсозбереження, енергоефективність

Issues of resource-saving and power efficiency at setting-up iron and steel micro-plants are considered. Rational ways to save power and material resources are specified, the most perspective power- and resource-saving technologies for producing shaped sections by small-tonnage lots are analyzed.

Keywords: micro-plant, economical sections, small-tonnage lots, resource-saving, power-efficiency

1. Введение

Микрозавод – это небольшой мощности, компактный, гибкий и легко переналаживаемый литейно-прокатный комплекс с возможностями удовлетворения быстро меняющегося спроса на продукцию [1].

В силу небольших объемов производства, на микрозаводах сложно достичь таких же высоких удельных показателей работы металлургических агрегатов, как на крупных металлургических предприятиях. Поэтому вопросы энерго- и ресурсосбережения для микрозаводов являются первостепенными. Без комплексного