

УДК 621.771.01

Кулик Т. А.
Кулик А. Н.
Кулик Н. А.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ОЧАГА ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ЛИСТОВОЙ ПРОКАТКЕ

Упрочняющие и разупрочняющие процессы при обработке давлением протекают во времени с определенными скоростями, обусловленными условиями деформации и природой деформируемого металла. В зависимости от того, какой из процессов будет преобладающим, результаты деформации будут различны [1]. Случай, когда рекристаллизация отсутствует, но процесс возврата успеваает произойти, получил название теплой деформации. В результате теплой деформации металл получает полосчатую микроструктуру без следов рекристаллизации, а при значительной деформации – текстуру деформации. Пластические свойства его выше, чем у металла, деформированного при отсутствии возврата, а прочностные свойства несколько ниже [2].

Основным технологическим предназначением процессов теплого деформирования является, на что уже было указано ранее, производство изделий из металлов и сплавов, обработка давлением которых в холодном состоянии, вследствие высокого сопротивления деформации и низкой пластичности, является невозможной или нецелесообразной. Обработка же данных металлов и сплавов в горячем состоянии является неэффективной вследствие высокой интенсивности окислительных процессов, низкого качества поверхности, а также вследствие ухудшения структур и снижения уровней физико-механических свойств.

При выборе режима теплой деформации сталей, склонных к синеломкости, следует учитывать, что температура деформации не должна совпадать с температурой снижения пластичности. В результате повышения температуры деформации подвижность дислокации значительно увеличивается, и они увлекают за собой атмосферы Коттрелла, которые, в свою очередь, легко перемещаются благодаря увеличению диффузионной подвижности атомов [3]. Целым рядом исследователей [1–4] показано, что реализация традиционных процессов листовой прокатки сопровождается значительным выделением тепловой энергии в очаге деформации, достигающих в некоторых случаях диапазона температур теплого деформирования. Такое повышение температур приводит к соответствующему изменению механических свойств деформируемого металла, что, наряду с аналогичным изменением условий внешнего трения на контактных поверхностях деформирующего инструмента, может быть целенаправленно использовано для повышения таких важнейших технико-экономических показателей, как результирующие геометрические характеристики и уровни физико-механических свойств, а также шероховатость и качество поверхности готовой металлопродукции. Отмеченное, в частности, подтверждают и результаты математических исследований процессов прокатки, выполненные с использованием пакета Abaqus [5].

Все вышесказанное, наряду с необходимостью решения задач, направленных на расширение сортамента, повышение качества и снижение себестоимости готовой металлопродукции, свидетельствует о целесообразности проведения дополнительных исследований температурных режимов процессов листовой прокатки.

Целью данной работы являлось исследование температурных режимов листовой прокатки с использованием специального устройства для пластической деформации,

моделирующего процесс прокатки с большим масштабом увеличения, позволяющего провести экспериментальные исследования температурных режимов реализации процесса. Исследования проводились на лабораторной базе кафедры «Автоматизированные металлургические машины и оборудование» Донбасской государственной машиностроительной академии были проведены экспериментальные исследования температурного режима при реализации процесса листовой прокатки относительно тонких заготовок. Поскольку исследование распределения температуры по высоте листа толщиной порядка 1...0,5 мм весьма затруднительно, было использовано специальное устройство для пластической деформации, моделирующее процесс прокатки в валках радиусом 750 мм, т.е. с большим масштабом увеличения геометрических параметров очага деформации [6].

Конструктивно данное устройство (рис. 1) содержит узел станин 1, нажимные винты 2, сопряженные с гайками 3, которые размещены в поперечинах 4, а также с направляющими подушками 5, зафиксированными от осевых перемещений планками 6. При моделировании процесса прокатки роль приводных рабочих валков выполняют сегменты 7 и 8, размещенные на опорных поверхностях подушек 5, покрытых антифрикционными планками 9. Привод сегментов 7 и 8 осуществляется посредством тяг 10, связанных шарнирно с ползуном 11, который зафиксирован от вращения направляющими 12 и сопряжен с гайкой 13 винтовой передачи. Приводной винт 14, зафиксированный от перемещений опорой 15, получает вращение через цилиндрический зубчатый редуктор 16 от электродвигателя переменного тока 17 мощностью 10 кВт. С учетом передаточного отношения редуктора и геометрических параметров передачи винт-гайка скорость перемещения рабочих сегментов составила 3,33 мм/с. Монтаж всех узлов и корпусных элементов выполнен на единой раме 18.

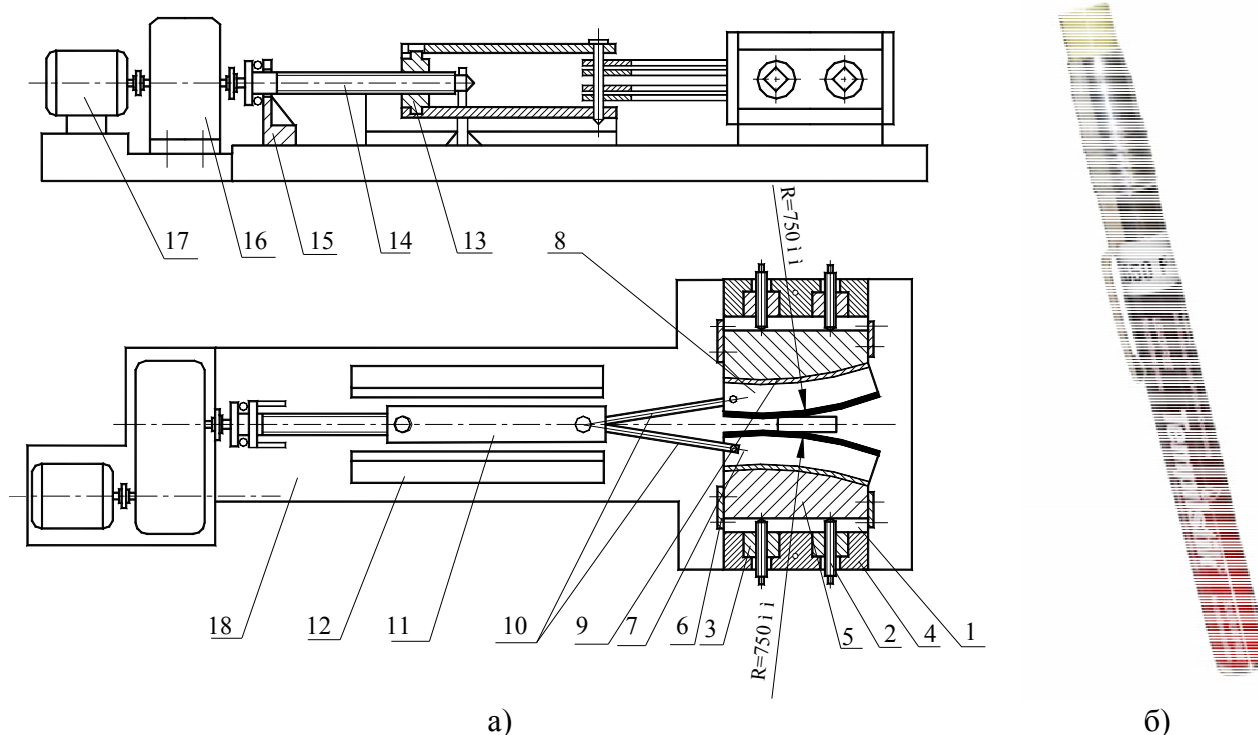


Рис. 1. Принципиальная конструктивная схема специального устройства для пластической деформации металла (а) и термоиндикаторный карандаш (б)

Количественную оценку эмпирических распределений температур производили при помощи тест-набора термоиндикаторных карандашей Tempilstik из 20 индикаторов, обеспечивающих измерение температур в диапазоне 52°C...427°C и представляющих собой стержень длиной 12 см и диаметром 1,5 см, состоящий из лакополимерного композита. Стержень вмонтирован в металлический корпус, снабженный карманным держателем.

Градуировка, а, следовательно, и точка измерения характеризовались в этом случае следующей последовательностью температур перехода 52°C, 66°C, 79°C, 93°C, 107°C, 120°C, 135°C, 149°C, 163°C, 177°C, 191°C, 204°C, 218°C, 232°C, 246°C, 260°C, 288°C, 316°C, 371°C, 427°C, что практически полностью охватывает весь диапазон возможных температурных условий реализации различных процессов холодного и теплого деформирования.

Непосредственно методика проведения экспериментальных исследований заключалась в том, что исходные заготовки, в качестве которых использовали медные листовые заготовки толщиной $h_0=5,0$ мм, деформировали до толщины $h_1=3,0$ мм. С учетом упругого сплющивания сегментов 7 и 8 (см. рис. 1), моделирующих рабочие валки прокатного стана, основной геометрический параметр очага деформации, определяемый как соотношение его протяженности l_c и средней толщины заготовки $h_{cp}=(h_0+h_1)/2$ был равен $l_c/h_{cp} \approx 12$. С точки зрения промышленных условий реализации данная геометрия, следуя элементам теории подобия, соответствует процессам прокатки полос с исходными и конечными значениями толщины $h_0 \approx 0,22$ мм, $h_1 \approx 0,13$ в рабочих валках радиусом $R_b=50$ мм и $h_0 \approx 0,12$ мм, $h_1 \approx 0,07$ – в рабочих валках радиусом $R_b=27,5$ мм, что соответствовало сортаменту процесса прокатки относительно тонких лент и листов. Технологическую смазку не применяли.

Непосредственно процесс пластической деформации медных листовых заготовок, осуществляли в четырех различных вариантах, а именно:

- по традиционной схеме процесса холодной прокатки, то есть без предварительного подогрева исходных заготовок ($t_{n0} \approx 20^\circ\text{C}$) и рабочих сегментов ($t_{b0} \approx 20^\circ\text{C}$);
- без предварительного подогрева исходных заготовок ($t_{n0} \approx 20^\circ\text{C}$) и с предварительным подогревом в сушильном шкафу рабочих сегментов ($t_{b0} \approx 300^\circ\text{C}$);
- с предварительным подогревом исходных заготовок ($t_{n0} \approx 300^\circ\text{C}$) и без предварительного подогрева рабочих сегментов ($t_{b0} \approx 20^\circ\text{C}$);
- с предварительным подогревом и исходных заготовок ($t_{n0} \approx 300^\circ\text{C}$), и рабочих сегментов ($t_{b0} \approx 300^\circ\text{C}$).

В качестве примера результатов проведенных экспериментальных исследований на рис. 2 представлены эмпирические распределения температур t_{n1} по толщине прокатанной заготовки. Анализируя данные распределения, необходимо указать на их существенную неоднородность, отличающуюся и количественно, и качественно при использовании различных технологических схем подвода тепловой энергии.

В частности, при использовании предварительного нагрева только исходной заготовки ($t_{n0}=20^\circ\text{C}$; $t_{b0}=300^\circ\text{C}$) максимум результирующих температур имел место по оси ($2y/h_{xi}=0,0$), в то время как в поверхностных слоях ($2y/h_{xi} \approx \pm 1,0$), вследствие наличия теплоотвода в рабочие сегменты, данный показатель был на $(40...55)^\circ\text{C}$ ниже.

Во всех остальных случаях максимум результирующих температур t_{n1} имел место в поверхностных слоях ($2y/h_{xi} \approx \pm 1,0$), однако степень неоднородности их распределений по толщине прокатанной заготовки была различной (см. рис. 2). Так, при

отсутствии предварительного нагрева ($t_{n0}=20^{\circ}\text{C}$; $t_{b0}=20^{\circ}\text{C}$) или при использовании предварительного эквивалентного нагрева и рабочих сегментов и исходных заготовок ($t_{n0}=300^{\circ}\text{C}$; $t_{b0}=300^{\circ}\text{C}$) различие температур на поверхности и по оси заготовки, обусловленное наличием дополнительного источника тепловой энергии работы сил внешнего трения, не превысило $(40\dots 50)^{\circ}\text{C}$. В случае же предварительного нагрева только рабочих сегментов ($t_{n0}=300^{\circ}\text{C}$; $t_{b0}=20^{\circ}\text{C}$) неоднородность распределений результирующих температур t_{n1} по толщине была выражена более ярко, при этом разница температуры t_{n1} на поверхности ($2y/h_{xi} \approx \pm 1,0$) и по оси ($2y/h_{xi} = 0,0$) прокатанных заготовок достигала 100°C и более (см. рис. 2).

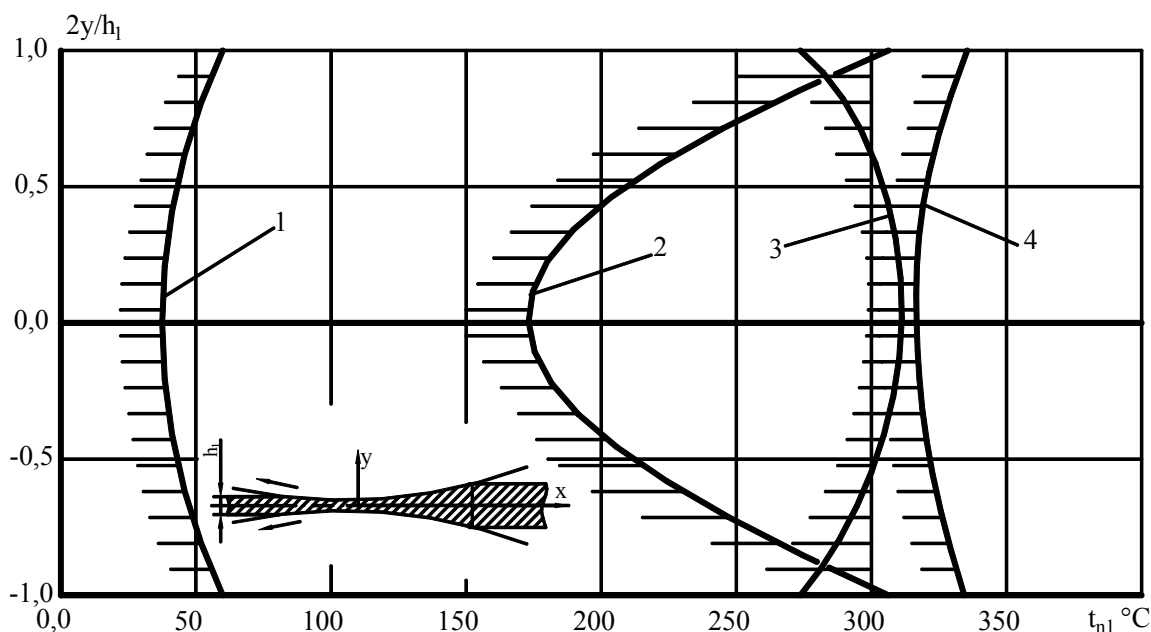


Рис. 2. Эмпирические распределения результирующих температур t_{n1} по толщине прокатанной заготовки при использовании различных технологических схем подвода тепловой энергии ($h_0=5,0$ мм; $h_1=3,0$ мм; материал – медь М1; $R_b=750$ мм; 1 – $t_{b0}=20^{\circ}\text{C}$; $t_{n0}=20^{\circ}\text{C}$; 2 – $t_{b0}=300^{\circ}\text{C}$; $t_{n0}=20^{\circ}\text{C}$; 3 – $t_{b0}=20^{\circ}\text{C}$; $t_{n0}=300^{\circ}\text{C}$; 4 – $t_{b0}=300^{\circ}\text{C}$; $t_{n0}=300^{\circ}\text{C}$)

ВЫВОДЫ

Использование специального устройства для пластической деформации, моделирующего процесс прокатки с большим масштабом увеличения, позволило провести экспериментальные исследования температурных режимов реализации процесса листовой прокатки. В ходе эксперимента измерения температуры производили при помощи термоиндикаторных карандашей Tempilstik, обладающих достаточно высоким быстродействием и необратимо изменяющих свой цвет по мере достижения соответствующей температуры перехода. Полученные распределения температуры по высоте образцов характеризуются существенной неоднородностью, отличающейся и количественно, и качественно при использовании различных технологических схем подвода тепловой энергии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитин Г.С. Теория непрерывной продольной прокатки / Г. С. Никитин. - Москва: МГТУ им Баумана, 2009. – 203 с.
2. Дурнев В.Д. Механика и физика листовой прокатки / В. Д. Дурнев, В. П. Настич, Н. В. Дурнев, под ред. А.Ф. Пименова. - Москва: Наука и технологии, 2002. – 224 с.
3. Грудев А.П. Теория прокатки / А. П. Грудев. - Москва: Интермет Инжиниринг, 2001. – 280 с.
4. Ершов С.В. Влияние температурного поля на напряженно-деформированное состояние металла при сортовой и листовой прокатке / С.В. Ершов, В.В. Степчук, С.А. Воробей // Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування. – 2011. - №63. – С. 199–202.
5. Liu G.R. The Finite Element Method: A Practical Course / Liu G.R., Quek S.S. – 2003. – 348 с.
6. А.с. 1650292 СССР МКИ В21 В13/00. Устройство для пластической деформации металла / В.Ф. Потопкин, В.А. Федоринов, А.В. Сатонин, В.П. Орёл, И.А. Морозов. (СССР) – №4697545/31-02 (073821); Заявлено 29.05.89.

REFERENCES

1. Nikitin G.S. Teorija nepreryvnoj prodol'noj prokatki / G. S. Nikitin. Moskva: MGTU im Baumana, 2009. – 203 s.
2. Durnev V.D. Mehanika i fizika listovoj prokatki / V. D. Durnev, V. P. Nastich, N. V. Durnev, pod red. A.F. Pimenova. – Moskva: Nauka i tehnologii, 2002. – 224 s.
3. Grudev A.P. Teorija prokatki / A. P. Grudev. – Moskva: Intermet Inzhiniring, 2001. – 280 s.
4. Ershov S.V. Vlijanie temperaturnogo polja na naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie metalla pri sortovoj i listovoj prokatke / S.V. Ershov, V.V. Stepchuk, S.A. Vorobej // Visnik NTUU «KPI». Serija mashinobuduvannja. – 2011. – №63. – S. 199–202.
5. Liu G.R. The Finite Element Method: A Practical Course / Liu G.R., Quek S.S. – 2003. – 348 s.
6. A.s. 1650292 SSSR MKI V21 V13/00. Ustrojstvo dlja plasticheskoj deformacii metalla / V.F. Potapkin, V.A. Fedorinov, A.V. Satonin, V.P. Orjol, I.A. Morozov. (SSSR) – №4697545/31-02 (073821); Zajavleno 29.05.89.

Кулик Т. А. – канд. техн. наук, ст. преп. каф. ОПМ ДГМА
Кулик А. Н. – канд. техн. наук, доц. каф. АММ ДГМА;
Кулик Н. А. – ассист. каф. МПФ ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: mto@dgma.donetsk.ua

Статья поступила в редакцию 17.10.2016 г.