

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПРОКАТКЕ ОВАЛЬНЫХ ЗАГОТОВОК С НЕРАВНОМЕРНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО СЕЧЕНИЮ

СМИРНОВ Е.Н. (ДонГТУ)

С использованием планирования эксперимента получены регрессивные зависимости, которые в первом приближении могут быть использованы для оценки влияния технологических факторов (величины температурного перепада между поверхностью и центром заготовки и величины относительного обжатия ϵ) на изменение величины неравномерности распределения продольных скоростей течения металла K_v по сечению заготовки.

Знание продольных скоростей течения металла позволяет качественно представить напряженное состояние при пластическом формоизменении. Предложенный в качестве характеристики неравномерности распределения этой величины коэффициент K_v [1], выполненный на его основе анализ свидетельствует о том, что по длине фактического очага деформации зависимости имеют вид кривых с несколькими экстремумами. В связи с этим, предусматриваемая теорией планирования эксперимента задача оптимизации этого параметра затруднена [2]. Вместе с тем не меньший практический интерес представляет собой задача построения регрессионных моделей, позволяющих прогнозировать влияние неравномерного температурного поля на напряженное состояние при прокатке арматурных периодических профилей (АПП) с требуемой точностью во всех точках некоторой заранее заданной области исследования параметров.

С использованием план-матрицы эксперимента, а также значений интервалов и уровней варьирования (таблица 1) были построены рабочие матрицы экспериментов. При этом значения параметров отклика получены в результате сглаживания расчетных значений величины K_v с использованием стандартной программы.

Таблица 1 — Нулевые уровни и интервалы варьирования основных технологических факторов прокатки арматурного профиля № 28 с междеформационным подстуживанием

Наименование фактора	Обозначение в кодовой форме	Показатели			
		Нулевой уровень	Интервал варьирования	Верхний уровень	Нижний уровень
b_0/h_0	x_1	1,91	0,18	2,09	1,73
$\sigma_{s,п}/\sigma_{s,ц}$	x_2	1,80	0,80	2,60	1,0

Математическая обработка результатов эксперимента показала, что частное распределение значений параметра K_v подчиняется нормальному закону. Кроме того, были получены регрессивные уравнения (1) для дискретных значений соотношения h_i/h_0 :

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + a_4 x_1 x_2 + a_5 x_1 x_3 + a_6 x_2 x_3 + a_7 x_1^2 + a_8 x_3^2 \quad (1)$$

где h_i — координата рассматриваемой материальной точки (высотная); h_0 — исходная высота заготовки; $x_1 - \epsilon$ — абсолютное обжатие; x_2 — отношение сопротивления деформации в поверхностном слое $\sigma_{s,п}$ к сопротивлению деформации в центральном слое $\sigma_{s,ц}$; $x_3 - x/lg$ — продольная координата рассматриваемой материальной точки.

Коэффициенты регрессии полученных уравнений приведены в таблице 2. Полученные уравнения регрессии были оценены при помощи статистических критериев.

Значимость коэффициентов корреляции была оценена при помощи критерия Стьюдента для уровня значимости 0,05. Адекватность полученных уравнений регрессии экспериментальным данным была произведена на основании сравнения расчетных и табличных значений критерия Фишера.

Таблица 2 — Значения коэффициентов множественной регрессии и критериев статистической оценки

h/h_0		Тип овала					
		Плоский			Однорядусный		
		0,85±0,8	0,43±0,4	0,0	0,85±0,8	0,43±0,4	0,0
Коэффициенты регрессии	a_0	1,224	-0,042	-0,411	0,705	-1,114	0,189
	a_1	-4,079	-0,182	1,144	-	1,081	-1,444
	a_2^*	(-)	(-)	(-)	-0,238	0,266	(-)
	a_3	0,076	—	—	0,037	-0,026	0,033
	a_4	—	0,052	—	—	—	—
	a_5	-0,045	0,007	—	—	—	0,026
	a_6	—	—	—	—	—	—
	a_7	1,900	—	—	-0,110	0,408	0,656
	a_8	—	-0,0002	-0,0001	0,0005	-0,0004	0,0003
Коэффициент корреляции k		0,558	0,351	0,479	0,694	0,608	0,512
Значимость коэффициента корреляции		5,298	3,351	4,800	6,627	5,768	4,828
Табличное значение критерия Стьюдента, $t_{0,05}$		1,960	1,960	1,960	1,960	1,960	1,960
Расчетное значение $F_{критерия}$		1,31	1,05	1,23	1,28	1,32	1,23
Табличное значение $F_{критерия}$		1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34
* В скобках указан знак при параметре ($\sigma_{s,л}/\sigma_{s,л}$) первичной модели с незначимыми коэффициентами регрессии							

Проверка значимость коэффициентов регрессии показала, что с вероятностью 90% не все из них являются значимыми. Данное обстоятельство привело к дальнейшему уточнению регрессионных моделей. Значения значимых коэффициентов регрессии, а также соответствующих статистических критериев приведены в таблице 2. Проверка их с помощью критерия Стьюдента и Фишера подтвердила значимость коэффициента корреляции, а также адекватность модели экспериментальным данным.

Следует особо подчеркнуть, что низкие значения коэффициентов корреляции R могут быть объяснены следующим образом. С одной стороны отрицательное влияние на величину R оказало малое число приведенных опытов (максимально — 6). С другой стороны, величина Kv является производной, то есть расчетной и полученной на основании результатов замера положений узлов координатной сетки, точность определения которых носит вероятностный характер и зависит от целого ряда

объективных и субъективных факторов. При этом не столь существенное отрицательное влияние каждого фактора в отдельности в совокупности дали столь значительное уменьшение величины коэффициента корреляции R .

Полученные регрессионные зависимости, в первом приближении, могут быть использованы для анализа влияния технологических факторов на изменение величины K_v , а, следовательно, и на изменение картины напряженного состояния. Увеличение величины относительного обжатия ε при прокатке заготовок типа плоского овала влечет за собой уменьшение абсолютной величины коэффициента K_v в поверхностных ($h/h_0=0,85\div 0,80$) и промежуточных ($h/h_0=0,43\div 0,4$) слоях, увеличивая тем самым вероятность возникновения в них дополнительных растягивающих напряжений. В центральных ($h/h_0=0,0$) будет наблюдаться увеличение коэффициента K_v , а следовательно, будет возрастать вероятность возникновения в них дополнительных сжимающих напряжений.

При прокатке заготовок типа однорадиусного овала влияние параметра ε носит диаметрально противоположный характер. При этом возрастание ε влечет за собой увеличение коэффициента K_v в поверхностных ($h/h_0=0,55\div 0,80$) и промежуточных ($h/h_0=0,43\div 0,4$) слоях, а также уменьшение в центральных ($h/h_0=0,0$), повышая тем самым вероятность возникновения в первых дополнительных напряжений сжатия, а во вторых — дополнительных растягивающих напряжений.

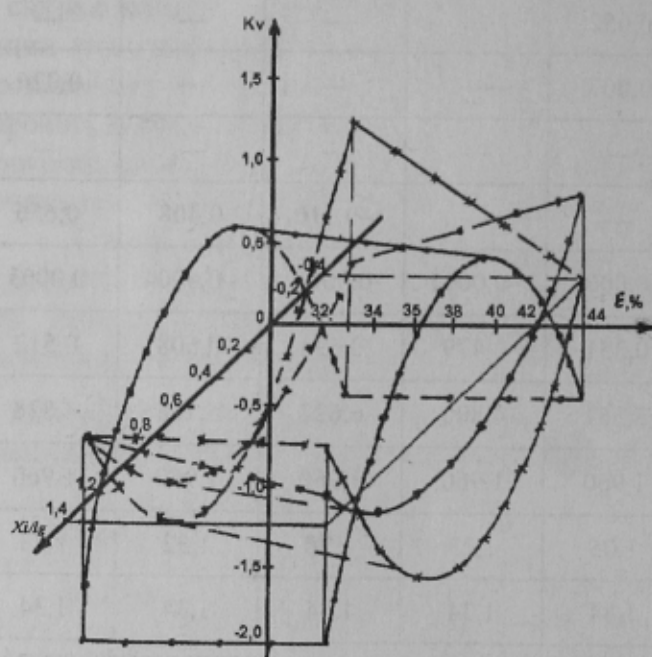


Рисунок 1 — Распределение параметра K_v по длине очага деформации при прокатке заготовок типа однорадиусный овал ($\sigma_{s,n}/\sigma_{s,y}=1,0$):

- — $h/h_0=0,85\div 0,8$
- × — $h/h_0=0,43\div 0,4$
- — $h/h_0=0,0$

Следует подчеркнуть, что неравномерное температурное поле в сечении заготовок в меньшей степени, чем относительное обжатие ε , оказывает влияние на параметр K_v . В случае прокатки заготовок типа плоский овал, рост величины температурного градиента будет способствовать уменьшению величины параметра K_v во всех слоях заготовок, а, следовательно, возрастанию вероятности возникновения в них дополнительных растягивающих напряжений. В то же время при прокатке заготовок типа однорадиусный овал увеличение величины температурного градиента приводит к уменьшению параметра K_v лишь в поверхностных ($h/h_0=0,85\div 0,8$) и центральных ($h/h_0=0,0$) слоях, повышая вероятность возникновения в них дополнительных напряжений растяжения. В промежуточных слоях ($h/h_0=0,43\div 0,4$) будет наблюдаться рост величины параметра K_v , приводящий к возникновению в них дополнительных напряжений сжатия.

В качестве иллюстрации влияния относительного обжатия и неравномерного температурного поля на распределение параметра K_v по длине фактического очага деформации на рисунке 1 приведена трехмерная графическая зависимость, отражающая основные особенности.

Таким образом, с использованием метода планирования эксперимента получены регрессивные зависимости, которые в первом приближении могут быть использованы для оценки влияния технических факторов на изменение величины неравномерности распределения продольных скоростей течения металла K_v , а, следовательно, и на изменение картины напряженного состояния. При этом с позиции повышения качества АПП (прежде всего предупреждения макроразрушений) из сталей с высоким уровнем пластичности при прокатке с подстуживанием более предпочтительна система калибров, использующая плоскую овальную заготовку, а из сталей с ограниченной (низкой) пластичностью — система калибров, использующая однорадиусную овальную заготовку.

Список литературы.

1. Минаев А.А., Смирнов Е.Н., Белевитин В.А. Неравномерность распределения скоростей течения металла при прокатке овальных заготовок с неравномерным распределением температуры по сечению // Известия вузов. Черная металлургия, 1994. — № 8. — С. 17–19.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. — М.: Наука, 1976. — 879 с.

© Смирнов Е.Н., 1999.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ НА СКЛОННОСТЬ К ГАЗОВОЙ КОРРОЗИИ ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ НАГРЕВАХ

АЛИМОВ В.И., ГИНЗБУРГ Г.А. (ДонГТУ)

Установлено, что размер зерна и тип структуры в стали состава 0,09% С, 0,36% Si и 0,42% Mn значимо влияют на ее склонность к газовой коррозии при нагревах ниже температуры A_{c1} .

Многочисленные элементы узлов промышленного оборудования, и некоторые металлоконструкции работают в условиях сравнительно не высоких температур, часто не превышающих температуру т. A_{c1} ; однако при длительной работе и таких температур вполне достаточно, для того, чтобы газовая коррозия лимитировала долговечность металлических элементов оборудования, тем более что для их изготовления массово применяются углеродистые, преимущественно низкоуглеродистые, стали. Типичным представителем такого оборудования являются различные теплообменники (воздухо-нагреватели), в которых наиболее теплонагружены трубчатые элементы. Условия работы трубчатых элементов осложняются тем, что их обогрев производится продуктами сгорания, содержащими, например, соединения серы и золу [1].

Исследование влияния размера зерна и типа исходной структуры на склонность к газовой коррозии трубчатых элементов из низкоуглеродистой стали целесообразно в связи с тем, что эти параметры могут существенно меняться для стали различного производства и обработки, а также меняться при изготовлении теплообменников и эксплуатации их в экстремальных ситуациях.

Материалом для исследований служил отрезок трубы диаметром 40 мм с толщиной стенки 1,6 мм из стали 10 с содержанием: 0,09% С, 0,36% Si, 0,42% Mn, и не более 0,04% S, 0,035% P, 0,15% Cr, 0,25% Cu, 0,25% Ni, 0,08% As. Кольца трубы высотой 10 мм разрезали на образцы длиной 15 мм каждый. Различную величину зерна и структуру получали предварительной термообработкой с предохранением поверхности образцов от окисления и обезуглероживания обмазкой, содержащей оксид