

УДК 621.73

Г.А. Орлов

Уральский федеральный университет

ИНЖЕНЕРНАЯ ОЦЕНКА ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Аннотация. Предложен вариант количественной оценки обрабатываемости металлов давлением по стандартным методам испытаний механических свойств. Получены связи научных и инженерных характеристик оценки деформируемости для использования результатов научных исследований в заводской практике, ориентируясь на стандартные методы испытаний. Приведен пример использования полученных формул для оценки предельного коэффициента вытяжки для ряда сталей в процессах прокатки и волочения. Предложенная методика может использоваться для оценки обрабатываемости новых сталей и сплавов.

Ключевые слова: обрабатываемость металлов давлением, механические свойства, научные и инженерные характеристики деформируемости, предельный коэффициент вытяжки, прокатка, волочение.

PLASTIC METAL WORKING ENGINEERING ASSESSMENT

Abstract. The variant of a quantitative estimation of treatability metals by pressure on standard test methods of mechanical properties is offered. Communications of scientific and engineering characteristics of an estimation of deformability for use of results of scientific researches in factory practice are received, being guided on standard test methods. The example of use of the received equations for an estimation of limiting elongation ratio for a number of steels in processes of rolling and drawings is resulted. The offered technique can be used for an estimation treatability new steels and alloys.

Keywords: treatability metals by pressure, mechanical properties, scientific and engineering characteristics of deformability, limiting elongation ratio, rolling and drawings.

В теории обработки металлов давлением (ОМД) обрабатываемость металла оценивают пластичностью как способностью деформироваться без разрушения и сопротивлением деформации, определяющим энергоёмкость деформирования через потребное усилие. Пластичность оценивается предельной степенью деформации, накопленной к моменту разрушения при заданной схеме напряженного состояния и определяется в специальных опытах [2]. Функционально эти характеристики представляются в виде диаграмм пластичности и кривых упрочнения. Для использования диаграмм пластичности необходимы сведения о характеристиках напряженного состояния в очаге деформации и накопленной степени деформации, которые в инженерной практике обычно не применяются. Для оценки степени деформации обычно применяются различные коэффициенты обжатия и вытяжки, связывающие начальные и конечные размеры тела без учета неравномерности в очаге деформации. Поэтому необходимо установить связи научных и инженерных характеристик, например предельной степени деформации и предельного коэффициента вытяжки с учетом неравномерности деформации через эмпирические коэффициенты.

В инженерной и заводской практике обычно отсутствует оборудование для определения диаграмм пластичности и кривых упрочнения, поэтому обрабатываемость давлением оценивается через стандартные механические свойства металла при комнатной температуре. Пластические свойства определяются относительным удлинением δ и сужением ψ , а энергоёмкость деформирования – временным сопротивлением σ_B и

пределом текучести σ_T . Сопротивление деформации – это напряжение, значение которого находится между пределом текучести и временным сопротивлением, т. е. временное сопротивление определяет максимально возможное значение сопротивления деформации. Оценка обрабатываемости делается обычно на качественном уровне (высокая, низкая и др.), что не позволяет оценивать пригодность к ОМД новых сталей и сплавов. В настоящей работе предложен вариант количественной оценки обрабатываемости металлов по стандартным методам испытаний. Также получены связи научных и инженерных характеристик оценки деформируемости для использования результатов научных исследований в заводской практике, ориентируясь на стандартные методы испытаний.

Представим обрабатываемость по 100-балльной шкале как произведение трех коэффициентов:

$$Q = 100K_1K_2K_3, \quad (1)$$

где $K_1 = \frac{\delta + \psi}{(\delta + \psi)_s} = \frac{\delta + \psi}{100}$ – коэффициент, учитывающий

пластичность металла; $(\delta + \psi)_s$ – эталонная пластичность, принятая за 100 %, что примерно соответствует очень пластичным сплавам (например, для стали 08 – 93 %, для латуни Л68 – 125 %, для алюминиевого

сплава АД1 – 115 %); $K_2 = \frac{1 - 0,1 \frac{\sigma_B}{\sigma_T}}{1 - 0,1 \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_T} \right)_s} = \frac{1 - 0,1 \frac{\sigma_B}{\sigma_T}}{0,9}$ –

коэффициент, учитывающий интенсивность упрочнения металла, чем больше отношение $\sigma_{\text{в}}/\sigma_{\text{т}}$, тем хуже обрабатываемость металла; эталонное значение $(\sigma_{\text{в}}/\sigma_{\text{т}})_{\text{э}} = 1$; 0,1 – масштабный коэффициент;

$$K_3 = \frac{1 - 0,0001(\sigma_{\text{в}} + \sigma_{\text{т}})}{1 - 0,0001(\sigma_{\text{в}} + \sigma_{\text{т}})_{\text{э}}} = \frac{1 - 0,0001(\sigma_{\text{в}} + \sigma_{\text{т}})}{0,985} - \text{коэф-}$$

фициент, оценивающий энергоёмкость деформирования по сумме $(\sigma_{\text{в}} + \sigma_{\text{т}})$, от чего зависит усилие деформации; 0,0001 – масштабный коэффициент. За эта-

лонное значение суммы $(\sigma_{\text{в}} + \sigma_{\text{т}})_{\text{э}} = 150$ мПа принято примерное среднее значение для легкодеформируемых сплавов. Например, для сплава АД1 эта сумма равна 110 мПа, для АД31 – 140 мПа, для АМц – 180 мПа.

Для оценки работоспособности формулы (1) использованы данные справочника [1] по стандартным механическим испытаниям различных сплавов и качественной оценки деформируемости, приведенные в табл. 1. Шкала оценок в табл. 1 с использованием формулы (1) выбрана следующим образом:

Таблица 1

Оценка обрабатываемости давлением

Марка стали (сплава)	$\sigma_{\text{т}}$, МПа	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	Ψ , %	Обрабатываемость давлением	
					балл	качественная оценка
Стали						
08	200	330	33	60	84	вв
10	210	340	31	55	78	вв
20	250	420	25	55	71	в
45	360	610	16	40	48	у
60	410	690	12	35	40	н
15Х	500	700	12	45	49	у
45Х	850	1050	9	45	44	у
45Г2	410	700	11	40	43	н
38ХС	700	900	13	50	53	у
30ХМ	750	950	11	45	46	у
15ХФ	550	750	13	50	54	у
20ХН	600	800	14	50	55	у
50ХН	900	1100	9	40	39	н
30ХГС	850	1100	10	45	44	у
ШХ15	420	730	21	46	56	у
X18H10T	200	550	40	55	73	в
Алюминиевые сплавы						
АД1	30	80	35	80	96	вв
АМц	50	130	23	70	87	вв
АМг3	90	190	15	65	80	вв
АД31	50	90	25	30	51	у
Д1	250	410	15	30	40	у
Медные сплавы						
Л68	91	320	55	70	89	вв
ЛО60-1	150	380	40	46	70	в
ЛЖМц59-1-1	170	450	50	55	83	в
ЛС60-1	130	370	45	30	63	в
Бр. ОФ4-0,25	—	340	52	—	83	в
Бр. ОЦ4-3	250	350	40	—	65	в
Бр. ОФ10-1	200	350	10	10	22	н
Титановые сплавы						
ОТ4	600	800	20	52	61	у
ВТ4	750	850	22	30	44	н
ВТ6	850	950	13	45	48	в
Магниевые сплавы						
МА2	170	270	10	27	34	н
МА8	170	270	10	28	35	н
МА18	155	185	30	60	88	вв

80 – 100 – весьма высокая обрабатываемость (вв);
 60 – 80 – высокая (в);
 40 – 60 – удовлетворительная (у);
 20 – 40 – низкая (н);
 менее 20 – не обрабатывается ОМД.

Расчеты показали, что предложенная балльная оценка совпадает с качественной оценкой по справочнику [1], т. е. предложенная методика может быть использована для оценки обрабатываемости давлением новых сталей и сплавов.

В теории ОМД пластичность оценивается инвариантной (не зависящей от системы координат) характеристикой – предельной степенью деформации сдвига, которую может выдержать металл до разрушения Λ_p . Однако в производственных условиях и в теории механических свойств пластичность оценивают относительным удлинением δ или сужением Ψ в %. Установим связь между этими характеристиками.

Степень деформации сдвига при монотонном растяжении цилиндрического образца рассчитывается по формуле [2]

$$\Lambda = \sqrt{3} \ln \frac{F_0}{F} = \sqrt{3} \ln \frac{L}{L_0}, \quad (2)$$

где F_0, L_0 и F, L – площади поперечного сечения и длины образца до деформации и текущие соответственно.

В момент разрушения $F = F_p, L = L_p$ и, учитывая, что $\psi = \frac{F_0 - F_p}{F_0} 100 \%$, $\delta = \frac{L_p - L_0}{L_0} 100 \%$, $\frac{F_0}{F_p} = \frac{100}{100 - \psi}$, $\frac{L_p}{L_0} = \frac{100 + \delta}{100}$, получим из (2):

$$\Lambda_p = \sqrt{3} k_\psi \ln \frac{100}{100 - \psi}; \quad (3)$$

$$\Lambda_p = \sqrt{3} k_\delta \ln \frac{100 + \delta}{100}, \quad (4)$$

где k_ψ, k_δ – коэффициенты немонотонности деформации при образовании шейки в поперечном и продольном направлениях соответственно.

Расчеты по формулам (3) и (4), выполненные с использованием данных табл. 1 и диаграмм пластичности, приведенных в работе [2] показали, что для большинства сплавов можно принять $k_\psi = 1,1 - 1,3$; $k_\delta = 3,0 - 3,3$. Заметим, что формулы (3) и (4) пригодны для оценки пластичности при показателе напряженного состояния $\sigma/T = 0,58$, что соответствует одноосному растяжению. Такие зоны растягивающих напряжений наблюдаются при волочении, а также при прокатке и ковке на свободных поверхностях металла, где возможно появление трещин.

В производственных условиях деформацию заготовки при ОМД оценивают чаще всего коэффициентом вытяжки $\mu = \frac{F_0}{F} = \frac{L}{L_0}$, через который можно выразить

степень деформации сдвига при удлинении цилиндрической заготовки, используя формулу (2):

$$\Lambda = \sqrt{3} k_{\text{нем}} \ln \mu, \quad (5)$$

где $k_{\text{нем}} = 1,2 - 1,5$ – коэффициент немонотонности деформации в зависимости от способа ОМД (имеются в виду стационарные процессы ОМД прокатки и волочения).

Предельной степени деформации (5) можно поставить в соответствие формулу

$$\Lambda_p = \sqrt{3} k_{\text{нем}} \ln \mu_p, \quad (6)$$

из которой предельный коэффициент вытяжки, который выдерживает металл до разрушения, может быть определен так:

$$\mu_p = \exp \left(\frac{\Lambda_p}{\sqrt{3} k_{\text{нем}}} \right). \quad (7)$$

Формулу (7) можно применять для определения предельных коэффициентов вытяжки с использованием исследований пластичности металлов и диаграмм пластичности. При отсутствии данных об исследовании пластичности ее можно определить по результатам стандартных испытаний по формулам (3) или (4), а затем рассчитать предельные коэффициенты вытяжки за один проход по формуле (7).

Для примера в табл. 2 приведены расчеты пластичности и предельного коэффициента вытяжки за один

Таблица 2

Предельные коэффициенты вытяжки за проход

Сталь	$\delta, \%$	$\Psi, \%$	Λ_p	m_p
08	33	60	1,62	1,87
10	31	55	1,54	1,81
20	25	55	1,27	1,63
45	16	40	0,84	1,38
60	12	35	0,64	1,28
15X	12	45	0,64	1,28
45X	9	45	0,49	1,20
45Г2	11	40	0,59	1,25
38ХС	13	50	0,69	1,30
30ХМ	11	45	0,59	1,25
15ХФ	13	50	0,69	1,30
20ХН	14	50	0,74	1,33
50ХН	9	40	0,49	1,20
30ХГС	10	45	0,54	1,23
ШХ 15	21	46	1,08	1,52
X18H10T	40	55	1,92	2,09

проход (7) для некоторых сталей. Видно, что предельные коэффициенты вытяжки соответствуют оценке обрабатываемости сталей, приведенной в табл. 1. Так, для стали 10 с высокой обрабатываемостью $\mu_p = 1,81$, а для стали 50ХН с низкой обрабатываемостью $\mu_p = 1,2$. Для большинства сталей предельный коэффициент вытяжки за один проход $\mu_p = 1,2 - 1,5$, что соответствует практике прокатного и волочильного производства.

Выводы. Предложен вариант количественной оценки обрабатываемости металлов по стандартным методам испытаний. Показано, что расчетная величина обрабатываемости хорошо совпадает с качественными оценками, приведенными в литературе. Также получены связи научных и инженерных характери-

стик оценки деформируемости для использования результатов научных исследований в заводской практике, ориентируясь на стандартные методы испытаний. В качестве примера приведены расчеты пластичности и предельного коэффициента вытяжки за один проход для некоторых сталей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Краткий справочник металлста / Под ред. А.Н. Маслова. – М.: Машиностроение, 1971. – 767 с.
2. Колмогоров В.Л. Напряжения. Деформации. Разрушение. – М.: Металлургия, 1970. – 229 с.

© 2013 г. Г.А. Орлов
Поступила 24 декабря 2012 г.

УДК 621.039

Ал.В. Серебряков¹, А.И. Слесарев², Ан.В. Серебряков³

¹ ООО «Новые технологии труб»

² Уральский федеральный университет

³ ОАО «Первоуральский новотрубный завод»

АДГЕЗИОННОЕ РАЗРУШЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МЕТАЛЛА В КОНТАКТЕ ТРЕНИЯ ИНСТРУМЕНТ–МЕТАЛЛ

Аннотация. Для процессов обработки металлов давлением характерно адгезионное взаимодействие металла с инструментом. Последствиями являются брак изделия и необходимость смены инструмента. Рассмотрена проблема, как осуществить выбор материала инструмента. Описан механизм развития трещин адгезионного разрушения поверхностного слоя металла на примере волочения труб на оправке. На основе анализа работ по адгезии твердых тел высказана гипотеза, что адгезионная активность материала инструмента связана с его работой выхода электронов. Методом фотостимулированной экзоелектронной эмиссии определена работа выхода электронов ряда керамических материалов. Установлена зависимость между работой выхода электронов материала инструмента и шероховатостью поверхности металла. Предложен критерий выбора материала инструмента и разработан способ волочения труб принципиально нового качества.

Ключевые слова: волочение труб, адгезия, разрушение, поверхностный слой, деформируемый металл, шероховатость, материал инструмента, электронная эмиссия.

METAL SURFACE LAYER ADHESION DESTRUCTION AT TOOL-METAL TORSION CONTACT

Abstract. Adhesive interaction of metal products with a tool inherent in the process of metal forming. Defects on the products and tools out of the order are the consequences of this. The problem of the choice of material for the instrument has been considered. On the example of mandrel tube drawing mechanism of fracture of adhesive fracture surface layer of metal has been described. Based on an analysis of the solids adhesion hypothesized that the adhesive activity is associated with the electron work function of the material tools. By method of photo-stimulated exoelectron emission electron work function for a number of ceramic materials has been determined. The relationship between the electron work function of the material and surface roughness of workpiece was detected. Criterion for selecting the tool material is formulated and a method of tube drawing fundamentally new quality has been developed.

Keywords: tube drawing, adhesion, the fracture, the surface layer, the deformation of the metal, roughness, the material for the instrument, electron emission.

Для процессов обработки металлов давлением характерно адгезионное взаимодействие металла с инструментом. Это взаимодействие приводит к переносу (налипанию) деформируемого металла с изделия на инструмент, последствиями которого являются брак изделия и необходимость смены инструмента.

Проблема налипания недостаточно изучена. В частности, в литературе отсутствуют сведения, какие

именно свойства материала инструмента предопределяют налипание металла, отсутствуют также критерии выбора материала инструмента.

Практическое решение проблемы налипания методами механики обработки металлов давлением не представляется возможным. Решение этой задачи возможно путем установления связи между процессом налипания металла с известными физическими процессами и свойствами материала инструмента.