

УДК 621.7.04

DOI: 10.30987/article\_5c7434e7e58fd6.35786465

**В.А. Дёмин, д.т.н.**

(ФГБОУ ВО МГТУ имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет),  
105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1)

E-mail: va\_demin@bk.ru

## **Выбор характеристик стали марки 08 для листовой штамповки**

*Рассмотрены особенности выбора стали марки 08 для последующей листовой штамповки. Отмечено, что в расчетах технологических процессов листовой штамповки необходимо учитывать колебания механических свойств стали. Показано, что из-за большого разброса механических свойств необходимо учитывать возможные колебания силы штамповки и максимально допустимых напряжений и деформаций на параметры технологического процесса.*

**Ключевые слова:** обработка металла давлением; листовая штамповка; выбор характеристик стали 08.

**V.A. Dyomin, Dr. Sc. Tech**

(FSBEI HE Bauman STU of Moscow (National Research University),  
Build 1, 5, 2-d Baumanskaya, Moscow, 105005)

## **Characteristics choice of steel grade 08 for sheet stamping**

*The peculiarities of the choice of steel grade 08 for the further sheet stamping are considered. It is emphasized that in the computations of engineering processes of sheet stamping it is necessary to take into account the fluctuations of steel stress-strain properties. It is shown that because of a considerable spread of stress-strain properties it is necessary to take into account possible fluctuations of a stamping force and maximum allowable stresses and deformations on the parameters of the engineering process.*

**Keywords:** metal pressure processing; sheet stamping; choice of steel 08 characteristics.

В машиностроении наибольшее применение для листовой штамповки получила сталь 08. Однако для проектирования технологических процессов и расчета конструкций из стали 08 необходимо знать её механические свойства.

Для конструкторских расчетов в работе [1] приводятся следующие механические свойства холоднокатаной стали марки 08:  $\sigma_B = 280...400 \text{ Н/мм}^2$  и  $\delta_5 = 25...28 \%$ , где  $\sigma_B$  – предел прочности;  $\delta_5$  – относительное удлинение. Это дает широкие возможности специалистам по обработке металлов давлением в выборе стали 08 для листовой штамповки.

Длительное время основным справочником по холодной штамповке являлся написанный В.П. Романовским [2]. Механические свойства

для сталей 08, 08кп, 08ю, 08В, СВ –  $\sigma_B = 260...330 \text{ Н/мм}^2$  и  $\delta_5 = 33...35 \%$ ;  $\delta_{10} = 42...44 \%$ . В большинстве справочников [3, 4], учебниках и учебных пособиях [5, 6] приводятся данные из работы [1]. Например, в [3] для стали 08ю –  $\sigma_B = 323 \text{ Н/мм}^2$  и  $\delta_{10} = 46 \%$ ; для стали 08кп –  $\sigma_B = 363 \text{ Н/мм}^2$  и  $\delta_{10} = 34 \%$  или  $\sigma_B = 380 \text{ Н/мм}^2$  и  $\delta_{10} = 30 \%$  в зависимости от ГОСТ по которому осуществляется поставка металла. В работе [5] для стали 08кп –  $\sigma_B = 260...380 \text{ Н/мм}^2$  и  $\delta_5 = 26...29 \%$ ; для сталей 08пс и 08 –  $\sigma_B = 270...410 \text{ Н/мм}^2$  и  $\delta_5 = 25...28 \%$ .

В работе [7], о которой авторы пишут, что «справочник подготовлен взамен широко известного для производителей справочни-

ка В.П. Романовского» предлагается использовать для стали 08 –  $\sigma_b = 360 \text{ Н/мм}^2$  и  $\psi = 25 \%$ , где  $\psi$  – относительное уменьшение площади поперечного сечения.

Из приведенных данных видно, что в научно-технической литературе по листовой штамповке нет единых рекомендаций по механическим свойствам стали марки 08. Механические свойства не связывают с показателями штампуемости. Поэтому рассмотрим механические свойства стали 08 по ГОСТам, по которым сталь поставляется на предприятия.

Поставки листовой холоднокатаной стали осуществляются по трем ГОСТам:

1. ГОСТ 9045-80 «Прокат тонколистовой холоднокатаный из низкоуглеродистой качественной стали для холодной штамповки. Технические условия»;

2. ГОСТ 5030-81 «Лента холоднокатаная

из низкоуглеродистой стали. Технические условия»;

3. ГОСТ 19904-90 «Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент».

По ГОСТ 9045-80 прокат подразделяют:

- по видам продукции: листы, рулоны;
- по нормируемым характеристикам на категории: 1, 2, 3, 4, 5;
- по качеству отделки поверхности на группы: особо высокой отделки – I\*; высокой отделки – II; повышенной отделки – III (IIIа, IIIб);
- по способности к вытяжке (прокат толщиной до 2 мм): весьма особо сложной – ВОСВ\*, ВОСВ-Т\*\*; особо сложной – ОСВ; сложной – СВ; весьма глубокой – ВГ.

\* По требованию потребителя. \*\* По требованию потребителя с повышенными технологическими свойствами.

Механические свойства для стали 08 представлены в табл. 1.

### 1. Механические свойства проката

Способность к вытяжке	Предел текучести, Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> ), не более	Временное сопротивление, Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Относительное удлинение, %, не менее, при толщине проката				Твердость, не более		
							HR 15T	HR 30T	HRB
							при толщине проката		
			> 0,7 мм	от 0,7 до 1,5 мм включ.	св. 1,5 до 2,0 мм включ.	св. 2,0 до 3,9 мм включ.	св. 0,5 до 0,8 мм включ.	св. 0,8 до 1,7 мм включ.	св. 1,7 до 2,0 мм включ.
ОСВ	195(20)	250...350(26–36)	34	36	40	42*	76	51	46
СВ	205(21)	250...380(26–39)	32	34	38	40*	78	53	48
ВГ	–	250...390(26–40)	26	28	29	30	–	–	–
ВОСВ	185(19)	250...350(26–36)	38	40	42		76	51	46

\* До 01.01.99 факультативно, после чего норма уточняется.

При этом надо иметь в виду, что из каждой партии тонколистового материала, предназначенного для поставки, готовят один представительный образец для испытаний на растяжение (который также используется для определения твердости). Партия в данном случае представляет собой каждые 50 т или меньше тонколистового материала одинакового качества, прокатанного до одинаковой толщины и состояния. Дополнительно к этому металлурги гарантируют указанные механические свойства не более 6 месяцев с момента отгрузки. В некоторых случаях этот срок может уменьшаться до 8 дней.

По ГОСТ 5030-81 ленту изготавливают:

- по состоянию материала: особо мягкая – ОМ; мягкая – М; полунагартованная – ПН; нагартованная – Н; высоконагартованная – ВН;
- по точности изготовления: по толщине: нормальной точности; повышенной точности

– Т; высокой точности – В; по ширине: нормальной точности; повышенной точности – Ш;

- по виду и качеству поверхности: группы 1, 2, 3, 4;
- по виду кромок: с обрезными кромками; с необрезными кромками – НО;
- по микроструктуре: без контроля; с контролем – К;
- по серповидности: без контроля; с контролем: класс А и Б;
- по качеству изготовления: обыкновенного качества; повышенного качества – П.

Механические свойства ленты из стали 08 представлены в табл. 2.

Анализ представленной информации показывает, что в технической литературе приводится не полная информация по механическим свойствам стали 08. По ГОСТам основные свойства изменяются в пределах  $\sigma_b = 250...540 \text{ Н/мм}^2$  и  $\delta_{10} = 4...44 \%$ .

2. Механические свойства ленты

Состояние материала	Марка стали	Временное сопротивление, Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Относительное удлинение, %, не менее					
			$\delta_4 = (l_0 = 4b_0)$					$\delta_5 = (l_0 = 5,65\sqrt{F_0})$
			при толщине ленты, мм					
			менее 0,5	от 0,5 до 0,7	от 0,7 до 1,5	от 1,5 до 2	от 2 до 2,9	от 3 до 4
ОМ	08кп, 08пс, 10кп	270...390 (28-40)	23	23	23	26	30	32
М	08кп, 08пс,	310...440 (32-45)	17	17	17	18	20	24
ПН	08, 10кп,	370...510 (38-52)	7	7	7	9	10	12
Н	10пс, 10	440...590 (45-60)					4	4
ВН		Не менее 540 (55)						

Механические свойства зависят от:

- от способа выплавки: 08, 08пс, 08кп;
- от группы штампуемости: ВГ, СВ, ОСВ, ВОСВ;
- от толщины проката.

В специализированных программах расчета процессов листовой штамповки используются FLD диаграммы, которые позволяют прогнозировать разрушение и потерю устойчивости

материала. Однако для сталей, выпускаемых на металлургических предприятиях Российской Федерации, таких диаграмм нет. По химическому составу ближайшая к стали 08 – сталь DC (Drawing Cold). Поэтому часто рекомендуют заменять в расчетах сталь 08 на DC.

Рассмотрим механические свойства стали DC, представленные в табл. 3.

3. Механические свойства стали DC

Качество	Re(МПа)			Rm(МПа)	A(%)			r		n
	min-max			min – max	min			min		min
EN 10130: 2007	$t \leq 0,5$	$0,5 < t \leq 0,7$	$t > 0,7$		$t \leq 0,5$	$0,5 < t \leq 0,7$	$t > 0,7$	$t < 2,0$	$t \geq 2,0$	
DC01	(140) 320	(140) 300	(140) 280	270 – 410	24	26	28			
DC03	(140) 280	(140) 260	(140) 240		30	32	34	1,3	1,1	
DC04	(140) 250	(140) 230	(140) 210		34	35	38	1,6	1,4	0,16
DC05	(140) 220	(140) 200	(140) 180		36	38	40	1,9	1,7	0,2
DC06	(120) 220	(120) 200	(120) 180		34	36	38	1,8	1,6	0,22

Примечания: Испытания на растяжение на поперечных образцах;

t – толщина листа, мм; значения r и n действительны только для листа с толщиной, большей или равной 0,5 мм.

Анализ данных, приведенных в табл. 3, показывает, что стали марки DC имеют лучшую штампуемость, чем сталь 08. Например, решение задачи вытяжки цилиндрического стаканчика показывает, что предельный коэффициент вытяжки для стали DC04 может быть существенно ниже, чем для стали 08ВГ.

Для расчета технологических процессов листовой штамповки используются кривые упрочнения материала. Наибольшее распространение получила аппроксимация Свифта:

$$\sigma_s = A \varepsilon^n,$$

где  $\sigma_s$  – напряжение текучести;  $\varepsilon$  – деформация;

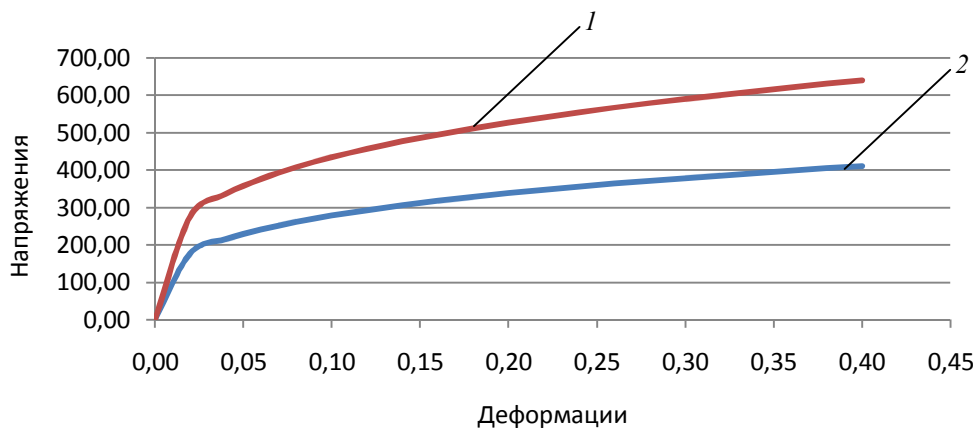
A и n – коэффициенты.

Для построения кривой упрочнения можно использовать данные, получаемые из испытаний на растяжения и приведенные в табл. 1 и 2, используя следующую формулу:

$$\sigma_s = \frac{\sigma_B}{1 - \psi_{ш}} \left( \frac{\psi}{\psi_{ш}} \right)^{\frac{\psi_{ш}}{1 - \psi_{ш}}},$$

где  $\psi = \delta / (1 + \delta)$ ;  $\psi_{ш}$  – относительное уменьшение площади поперечного сечения к моменту начала образования шейки.

По табл. 1 для стали 08ВГ были построены кривые упрочнения (рис. 1).



**Рис. 1. Кривые упрочнения для стали 08ВГ:**

1 –  $\sigma_B = 390 \text{ Н/мм}^2$ ; 2 –  $\sigma_B = 250 \text{ Н/мм}^2$

Анализ кривых упрочнения, представленных на рис. 1, показывает, что при таком диапазоне изменения напряжений и деформаций, даже для одной группы штампуемости, при расчете технологического процесса необходимо учитывать колебания напряжений. В работе [8] показано, что изменение кривой упрочнения может оказывать существенное влияние на максимальные радиальные напряжения при вытяжке.

Сегодня, в отдельных программах, разработанных для анализа процессов листовой штамповки, например AutoForm, можно учитывать изменения колебания различных факторов на выходные параметры процесса листовой штамповки.

Для решения задач листовой штамповки используются условия текучести Губера–Мизеса или Треска–Сен-Венана. На рис. 1 показано, как может меняться условие пластичности для стали 08ВГ, естественно для всех групп штампуемости стали 08 диапазон изменения существенно выше.

Анализ (см. рис. 1) показывает, что разница между условиями пластичности намного меньше колебаний механических свойств по ГОСТ. Это позволяет сделать вывод о том, что при анализе реальных технологических процессов при необходимости заказа конкретного материала по ГОСТ, важнее учитывать изменение механических свойств, а не форму записи условия пластичности.

### Заключение

Представленные результаты показывают, что в большинстве справочников, учебных пособиях и учебниках приводится не полная информация по механическим свойствам стали марки 08. По ГОСТам основные механические свойства могут изменяться в пределах

$\sigma_B = 250 \dots 540 \text{ Н/мм}^2$  и  $\delta_{10} = 4 \dots 44 \%$ .

Механические свойства зависят от способа выплавки: 08, 08пс, 08кп; от группы штампуемости: ВГ, СВ, ОСВ, ВОСВ; от толщины проката.

Для листовой штамповки необходимо выбирать сталь 08, в первую очередь, по способу плавки, группе штампуемости и по толщине.

В расчетах нельзя заменять сталь 08 на сталь ДС.

При проектировании реальных технологических процессов необходимо учитывать возможное существенное изменение механических свойств поставляемого металлургическими предприятиями металла.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анурьев, В.И. Справочник конструктора машиностроителя. Т.1. – М.: Машиностроение, 1979. – 728 с.
2. Романовский, В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с.
3. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / под общ. ред. Л.И. Рудмана. – М.: Машиностроение, 1988. – 496 с.
4. Справочник по листовой штамповке: учебное пособие/ Демин В.А., Львович К.Д., Маркин П.В., Семенов Е.И., Феофанова А.Е.; под общ. ред. В.А. Демина и Е.И. Семенова. – М.: МГИУ, 2011. – 177 с.
5. Ильин, Л.Н., Семенов, И.Е. Технология листовой штамповки: учеб. для вузов. – М.: Дрофа, 2009. – 475 с.
6. Морозов, В.В., Схиртладзе, А.Г., Жданов, А.В., Залеснов, А.И. Автоматизированное проектирование технологической оснастки для холодной штамповки: учебное пособие под ред. В.В. Морозова. – Старый Оскол: ТНТ, 2012. – 344 с.
7. Григорьев, Л.Л. Холодная штамповка: Справочник / Л.Л. Григорьев, К.М. Иванов, Э.Е. Юргенсон; под ред. Л.Л. Григорьева. – СПб.: Политехника, 2009. – 665 с.
8. Демин, В.А. Бадулин, Д.Н. Влияние отклонения ха-

характеристик заготовок на результаты расчета процессов обработки давлением // Научные технологии в машиностроении. – 2015. – №12(54). – С. 41-44.

## REFERENCES

1. Anuriev, V.I. *Reference Book of Designer-Mechanical Engineer*. Vol.1. – M.: Mechanical Engineering, 1979. – pp. 728.
2. Romanovsky, V.P. *Reference Book on Cold Forming*. – L.: Mechanical Engineering. 1979. – pp. 520.
3. *Die Designer's Reference Book: Sheet Stamping* / under the general editorship of L.I. Rudman. – M.: Mechanical Engineering, 1988. – pp. 496.
4. *Reference Book on Sheet Stamping: manual* / Dyomin V.A., Lvovich K.D., Markin P.V., Semyonov E.I., Feofanova

A.E.; under the general editorship of V.A. Dyomin and E.I. Semyonov. – M.: MSIU, 2011. – pp. 177.

5. Ilyin, L.N., Semyonov, I.E. *Sheet Stamping Technique: college textbook*. – M.: Drofa, 2009. – pp. 475.

6. Morozov, V.V., Skhirtladze, A.G., Zhdanov, A.V., Zalesnov, A.I. *Computer Aided Design of Technological Equipment for Cold Shaping: manual* under the editorship of V.V. Morozov. – Stary Oskol: TNT, 2012. – pp. 344.

7. Grigoriev, L.L. *Cold Shaping: reference book* / L.L. Grigoriev, K.M. Ivanov, E.E. Yurgenson; under the editorship of L.L. Grigoriev. – S-Pb.: Polytechnic, 2009. – pp. 665.

8. Dyomin, V.A., Badulin, D.N. Impact of blank characteristics deviations upon computation results of shaping processes // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2015. – No.12 (54). – pp. 41-44.

Рецензент д.т.н. С.А. Евсюков

УДК 621.791.14

DOI: 10.30987/article\_5c7434ed5317f2.05345899

В.В. Овчинников, д.т.н.

(АО ВО Московский политехнический университет, 107023, г. Москва, ул. Большая Семеновская, 38)

А.М. Дриц, к.т.н.

(ЗАО "Арконик-СМЗ", 123317, Москва, Краснопресненская наб., 18)

E-mail: vikov1956@mail.ru; dritsam@gmail.com

## Технологические особенности сварки трением с перемешиванием соединений алюминиевых сплавов системы Al-Mg

На основе обширной базы результатов экспериментальных исследований определены типичные механические свойства стыковых сварных соединений термически неупрочняемых алюминиевых сплавов системы Al-Mg. Показано, что при сварке трением с перемешиванием происходит формирование градиентной структуры с ультрамелко-дисперсным зерном в зоне перемешивания. Установлено, что в основе механизма формирования соединения лежат явления пластической деформации сдвига и поворота структурных фрагментов. Определен диапазон оптимальных соотношений, выражающих длину линейного перемещения инструмента вдоль стыка за один его оборот, в котором обеспечивается качественное формирование швов тонколистовых алюминиевых сплавов системы Al-Mg.

**Ключевые слова:** сварка трением с перемешиванием; алюминиевые сплавы; сплавы системы легирования Al-Mg; параметры режима; механизм формирования соединения; температура нагрева.

V.V. Ovchinnikov, Dr. Sc. Tech.

(ANO HE Moscow Polytechnic University, 38, Bolshaya Semyonovskaya, Moscow, 107023)

A.M. Drits, Can. Sc. Tech.

(CC "Arkonik-SMZ", 18, Krasnopresnenskaya Quay, Moscow, 123317)

## Technological peculiarities of friction welding with Al-Mg aluminum alloys stir

On the basis of the extensive base of experimental research results there are defined standard stress-strain properties of welded butt-joints of aluminum alloys thermally non-hardened with Al-Mg system. It is shown that during friction welding with stir there is a formation of a gradient structure with ultra-fine grain in the stir area. It is defined that at the heart of the mechanism of a joint formation are placed phenomena of plastic deformation of a displacement and turn of structural elements. There is defined a range of optimum proportions expressing a length of a tool linear displacement along a joint during one its turn in which a qualitative formation of thin sheet joints of the Al-Mg system.

**Keywords:** friction welding with stir; aluminum alloys; alloys of Al-Mg alloy addition system; mode parameters; mechanism of compound formation; heating temperature.