

В. В. УВАРОВ, А. М. ВИБИКОВ, Е. А. ДЕМИНА

## ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛИСТОВОГО ВЫСОКОМАГНИЕВОГО АЛЮМИНЕВОГО СПЛАВА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АВТОМОБИЛЕЙ

В настоящее время в большинстве ведущих фирм по производству автомобилей развернуты работы по замене сталей для вытяжки-формовки кузовов и облицовочных деталей на алюминиевые полуфабрикаты. Алюминиевый кузов легкового автомобиля дает экономию в весе при идентичной прочности и жесткости на 35-45 %, а расход топлива уменьшается на 1,2-1,5 литра на 100 км пробега [1].

При этом внимание конструкторов всегда привлекали высокопрочные сплавы системы алюминий - магний. Однако область деформируемых сплавов ограничивалась содержанием магния около 6 % (сплав АМГ 6). Сплавы близкие к эвтектическому типу (10-11 %) магния относили обычно к недеформируемым литейным сплавам [2]. Хотя они и характеризовались высокими прочностными свойствами, достаточной коррозионной стойкостью, но уровень их пластичности не позволял проводить интенсивные процессы пластического деформирования и получать листовые полуфабрикаты для последующего формоизменения в операциях листовой штамповки.

Анализ применяемых технологий выплавки алюминиевых сплавов и оценка качества отливок позволили найти новый подход получения литых заготовок с заданным уровнем свойств [3]. В основе этого подхода лежит комплексная система регламентированного формирования структурно - фазового состояния сплава за счет определенного порядка загрузки легирующих компонентов без образования нерастворимых окислов, микролегирования, интенсификации процессов внешней обработки и физико-химических

способов воздействия на расплав в процессе затвердевания отливки.

В качестве деформируемого высокопрочного сплава в данной работе исследован опытный сплав системы алюминий-магний с содержанием магния около 10%, добавками циркония, бериллия, титана, бора и кобальта. Химический состав опытных ОТЛИВЭК и стандартного аналога-литейного сплава АЛ 27-1 приведен в таблице 1.

Таблица 1. Массовая доля элементов в опытных отливках высокомагниевого сплава АМГ 10\* и литейного сплава АЛ 27-1

сплав	условный номер плавки	Mg %	Zr %	Be %	Ti %	B %	Co %	Al %
АМГ10*	1	9,90	0,11	0,05	0,05	0,01	0,015	остаточное
	2	10,20	0,08	0,04	0,05	0,01	0,015	
	3	10,50	0,11	0,08	0,02	0,01	0,015	
	4	9,80	0,08	0,04	0,05	0,01	0,015	
	5	9,89	0,18	0,05	0,09	0,01	0,015	
АЛ27-1		9,5-	0,05-	0,05	0,05-			остаточное
		10,5	0,2	0,15	0,15			

маркировка сплава является условной

Поскольку основной задачей данной работы являлось изучение и оценка механических и технологических свойств листовых полуфабрикатов, предназначенных для операций холодной листовой штамповки, из слитков различных плавов изготовлялись горячим прессованием полосы сечением 10 x 200 мм, а затем путем карточной прокатки - листовые заготовки толщиной 1 мм.

Листовые заготовки подвергались закалке с температуры нагрева 430-440 °С. Комплекс испытаний включал: испытания на растяжение технологическую пробу на выдавливание сферической дунки, определение показателей анизотропии.

4	УТС400-1	<u>389</u>	<u>198</u>	<u>36,0</u>	<u>35,1</u>	<u>30,9</u>
		385	195	36,2	35,8	31,7
4	УИМ-5	<u>401</u>	<u>210</u>	<u>35,9</u>		
		402	216	36,1		
4	Tiratest2000	<u>385</u>	<u>201</u>		<u>38,6</u>	<u>30,2</u>
		381	205		38,0	29,5

Примечание : в числителе значения для поперечных образцов , в знаменателе - продольных

Для сравнительного анализа выявленных стандартных свойств на рис. 1 приведены показатели прочности и пластичности листовых материалов , применяемых для изготовления штампованных деталей в автомобилестроении [4,5].

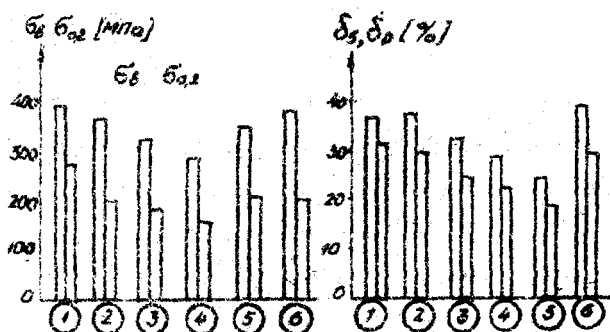


Рис. 1. Уровень механических свойств ряда листовых материалов , используемых в листоштамповочном производстве автодеталей

- 1 - сталь 08ГСЮТ ( Ф ) , 2 - сталь 08ЮОСВ,
- 3 - алюминиевый сплав 5182-0 фирмы Sida! Aluminium,
- 4 - алюминиевый сплав 666-T4 фирмы Sida! Aluminium ,
- 5 - сплав АМГ6М ; 6 - опытный сплав АМГ10.

Анализ диаграмм показывает, что стандартные механические свойства

## Испытания на растяжение

В процессе испытаний на растяжение плоских образцов определялись как стандартные показатели, регламентируемые ГОСТ 1497-84 и ГОСТ 11701-84, так и ряд специфических свойств, используемых для оценки штампуемости листовых материалов и, в частности, показатель упрочнения  $n$  и коэффициенты анизотропии  $\mu$  и  $\tau$ .

В качестве стандартных свойств оценивались:

$\sigma_b$  - предел прочности, МПа,

$\sigma_{0.2}$  - предел текучести, МПа

$\delta_4$  и  $\delta_5$  - полное относительное удлинение, %

$\delta_p$  - равномерное относительное удлинение, %.

Для испытаний изготавливались стандартные образцы, вырезанные вдоль и поперек проката из листовых карточек двух плавок, показавших повышенную пластичность в литом состоянии (№ 3 и № 4). Испытаниям подвергались 3 партии, каждая из которых включала в себя по 5 образцов на направление вырезки. В целях повышения объективности оценки свойств, испытания каждой партии проводились на различных типах разрывных машин. Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Таблица 2

Средние значения прочностных и пластических характеристик при испытании на разрыв листовых

образцов АМГ10

№ плавки	Тип испытательной машины	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{0.2}$ , МПа	$\delta_5$ , %	$\delta_4$ , %	$\delta_p$ , %
3	УТС400-1	<u>395</u>	<u>206</u>	<u>37,4</u>	<u>34,9</u>	<u>28,6</u>
		393	200	36,8	34,0	28,4
3	УИМ-5	<u>402</u>	<u>216</u>	<u>36,0</u>		
		404	219	40,0		
3	Tiratest2000	<u>393</u>	<u>199</u>		<u>34,6</u>	<u>29,7</u>
		388	195		33,9	29,5

опытного деформируемого сплава АМГ 10 приближаются по свойствам к низкоуглеродистой стали для холодноштамповочного производства

08ГСЮТ(Ф) по ТУ 14-1-3764-84 и имеют уровень  $\sigma_s = 385 - 400$  МПа,  $\sigma_{0.2} = 195-210$  МПа,  $\delta_5 = 36-40\%$ ,  $\delta_{10} = 28 - 30 \%$ . Эти показатели превосходят как отечественные, так и зарубежные алюминиевые сплавы системы алюминий - магний.

Следует отметить, что экспертные выборочные исследования карточек из листа АМГ10, проведенные независимыми зарубежными фирмами, подтвердили идентичность основных свойств. Так, испытания, выполненные на фирме "Ауди" на образцах толщиной от 1 до 4 мм, показали следующие средние данные:  $\sigma_s = 382 - 389$  МПа,  $\sigma_{0.2} = 180-186$  МПа,  $\delta_5 = 36-40 \%$ .

Испытания на растяжение позволили изучить эффект упрочнения (наклепа) листов АМГ10 в процессе холодного деформирования. С этой целью путем обработки индикаторных диаграмм растяжения  $P - \Delta l$  графическим путем построены кривые упрочнения  $\sigma_s - \delta$ . Параллельно для сравнения характера наклепа проведены аналогичные испытания и построены кривые упрочнения стали 08ГСЮТ и сплава АМГ6 (рис. 2)

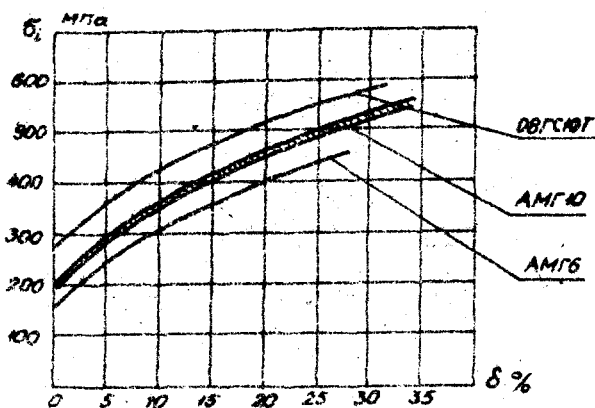


Рис. 2. Кривые упрочнения стали 08ГСЮТ и алюминиевых сплавов АМГ6 и АМГ10

Из анализа графиков следует, что листовый материал АМГ10 достаточно интенсивно подвергается упрочнению. Так, при холодной деформации в 30 % значение  $\sigma_1 - \sigma_2^*$  увеличивается в 2,5 раза и составляет 510 - 520 МПа, что превышает интенсивность упрочнения стандартного сплава Al - Mg ( АМГ6 ). Подобное упрочнение сравнимо со сталью для глубокой вытяжки 08ГСЮТ ( Ф ). Следует отметить, что разница в характере и величине упрочнения продольных и поперечных образцов АМГ10 незначительна и составляет в области деформаций до 30 % менее 5 %.

Важным параметром для оценки штампуемости материала в формоизменяющих операциях листовой штамповки является показатель деформационного упрочнения  $n$  - степень увеличения истинного предела текучести при определенной величине деформации. Чем выше показатель, тем более равномерно распределение деформации при данном градиенте напряжения, высокая величина  $n$  позволяет избежать местных резких утонений ( пиков деформаций ) [ 6 ].

На рис. 3 приведены значения  $n$  зависимости от степени деформации, результаты представлены в виде средних значений при испытании 5 образцов долевого и поперечного направлений.

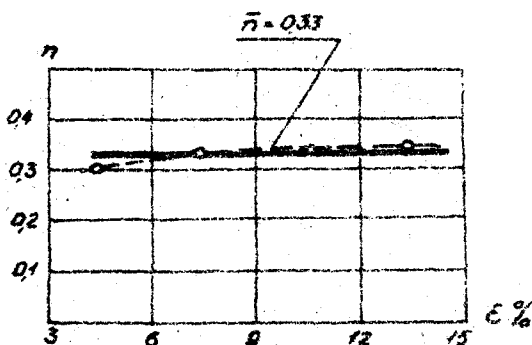


Рис. 3. Показатель упрочнения  $n$  сплава АМГ10

В таблице 3 приведены значения  $n$  для ряда листовых материалов, предназначенных для формоизменяющих операций глубокой вытяжки.

Таблица 3 Значения показателя  $n$  ряда листовых материалов

Материал	$n$
сталь 08ГСЮТ (Ф)	0,35
сталь 08ЮОСВ	0,33
сплав 5082 (фирма Sidal)	0,32
сплав 666 - T4SSF (фирма Sidal)	0,29
сплавы АМГ3, АМГ6	0,3-0,31
сплав АМГ10	0,33

Из сравнительного анализа следует, что показатель  $n$  у сплава АМГ10 находится на уровне хорошо штампуемых сталей, предназначенных для глубокой вытяжки и выше, чем у алюминиевых сплавов.

Технологические испытания на выдавливание сферической лунки

( проба по Эриксену )

Сущность испытания заключается в вытяжке сферической лунки в плоской заготовке, жестко зажатой между матрицей и прижимным кольцом, путем внедрения в матрицу сферического пуансона. Критерием окончания испытания служит момент уменьшения усилия вытяжки, а мерой способности металла к вытяжке является глубина лунки  $IE$ . Испытания проводились на приборе ПТЛ-10М.

Результаты испытаний образцов из опытного сплава АМГ10 и стандартного сплава АМГ6 приведены в таблице 4.

Таблица 4. Значения глубины лунки  $h_{max}$  при испытании листовых образцов на выдавливание

Сплав	№ партии, плавки	Толщина листа, мм	Глубина лунки, мм	Среднее значение глубины лунки, мм
1	2	3	4	5
АМГ10	01	1,02	9,60	9,43
		1,02	9,45	
		1,00	9,33	

		1,00	9,36	
		1,02	9,40	
АМГ10	02	1,01	9,70	9,63
		1,01	9,71	
		1,00	9,62	
		1,00	9,52	
		1,01	9,60	
АМГ6	301210	1,1	9,19	9,13
		1,1	9,21	
		1,1	9,09	
		1,1	9,20	
		1,1	9,02	
АМГ6	30190	0,8	9,30	9,21
		0,8	9,23	
		0,8	9,20	
		0,8	9,16	
		0,8	9,20	

Сравнительный анализ данных испытаний на выдавливание сферической лунки ( табл. 5 ) показывает что все алюминиевые сплавы , в том числе и зарубежные фирмы "Sital " , уступают сталям по этим показателям. Однако листовой материал АМГ10 превосходит их ( особенно сплавы типа АМГ6, 666-Т1, 5182 ) и приближается по значениям к малоуглеродистым сталям типа 08 или 10 ПС , часто используемым в формоизменяющих операциях листовой штамповки.

Относительная разница сплава АМГ10 и сталей 08ГСЮТ ( Ф ) составляет 11-12 % , что предопределяет использование листов АМГ10 в кузовно-штамповочном производстве.



Таблица 5. Величины глубины лунки для некоторых материалов

материал	толщина листа, мм	$h_{\text{max}}$ , мм	примечание
08ГСЮТ(Ф)СВ	1,00	10,8	Графитовая смазка типа УСсА
08ЮСВ	1,00	10,9	
08; 10 ПС	1,00	9,2-9,3	
5210 «Sital»	1,20	9,4-9,7	Вазелиновое техническое масло
5182 «Sital»	1,25	9,2-9,3	
666-Т1 «Sital»	1,20	8,9-9,2	
АМГ6М	1,10	9,1-9,2	Смазка типа ЦИАТИМ-201
АМГ6М	0,80	9,2	
АМГ10	1,00	9,4-9,6	

#### Определение показателей анизотропии

При оценке штампуемости листовых полуфабрикатов в последние время используют один из критериев многоцелевого назначения - показатель нормальной анизотропии  $\bar{\mu}$  или  $\bar{r}$  [7]. В данной работе этот показатель определялся при испытании плоских образцов, вырезанных вдоль и поперек проката на различных этапах равномерной деформации от 3 до 18%. В качестве показателей анизотропии использовалось соотношение главных деформаций, характеризующих пластическую анизотропию в направлениях  $0^\circ$  -  $\mu_0, r_0$  и  $90^\circ$  -  $\mu_{90}, r_{90}$ . По их значениям рассчитывались показатели нормальной анизотропии в плоскости листа

$$\bar{\mu} = (\mu_0 + \mu_{90}) / 2 \quad \text{и} \quad \bar{r} = (r_0 + r_{90}) / 2.$$

На рис. 4 приведены данные при испытании продольных образцов  $\mu_0, r_0$  и поперечных образцов  $\mu_{90}, r_{90}$ , а также осредненная величина нормальной анизотропии  $\bar{\mu}$  и  $\bar{r}$ .

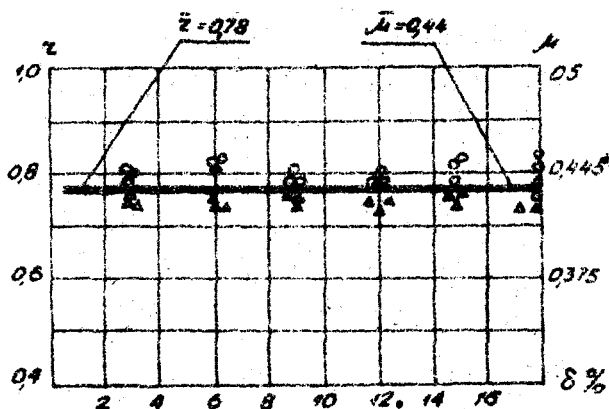


Рис. 4. Оценка величины анизотропии сплава АМГ10

Исследуемый сплав в сравнении со сталями / 4 / имеет относительно низкие показатели, т.е.  $\bar{\mu} < 0,5$  и  $\bar{r} < 1$ . Однако, из алюминиевых сплавов системы А1-Мg сплав АМГ10 обладает более высоким показателем нормальной анизотропии  $\bar{\mu} = 0,45-0,44$ ;  $\bar{r} = 0,75-0,78$ , что на 6-7% выше, чем, например, АМГ6 в отожженном состоянии.

### ВЫВОДЫ

1. Высокомагниевого алюминиевого сплава с содержанием магния ~ 10 % за счет использования специальных лигатур, содержащих цирконий, титан, бериллий комплексной внепечной обработки, формирования литой заготовки в ЭМК, является достаточно пластичным и может рассматриваться не как литейный, а как деформируемый сплав, позволяющий получать из него листовые полуфабрикаты.

2. Стандартные механические свойства различных партий (плавов) листового материала АМГ10 приближаются по уровню к свойствам низкоуглеродистой стали 08ГСЮТ (Ф), поставляемой для изготовления кузовных деталей автомобиля по ТУ 14-1-3764-84.

3. Сплав АМГ10 в закаленном состоянии обладает высокой способностью к упрочнению при холодной деформации, величина коэффициента упрочнения п

находится на уровне низкоуглеродистых сталей.

4. Технологические испытания на выдавливание сферической лунки подтвердили возможность использования сплава АМГ10 в операциях глубокой вытяжки и формовки.

5. С точки зрения влияния анизотропии на штампуемость сплав АМГ10 обладает более низкими, чем у сталей, значениями нормальной анизотропии. Эти показатели отражают присущие большинству алюминиевых сплавов особенности формирования их анизотропии.

6. Комплекс изученных свойств позволяет оценить листовые полуфабрикаты из АМГ10 как один из перспективных материалов при изготовлении кузовных деталей автомобиля формоизменяющими операциями холодной штамповки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов А. В. Кузов из алюминия по почти безотходной технологии // "Авто", 1994, №2, с. 10-13.
2. Промышленные алюминиевые сплавы : Справ. Изд. /Алнева С.Г., Альтман М.Б., Амбарцумян С.М. и др. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Металлургия, 1984. 528 с.
3. Бибииков А.М. Управление структурообразованием и свойствами в отливках// Сб. Материалов отраслевого совещания. Самара, 1991. 132 с.
4. Листовой материал для изготовления кузовов легковых автомобилей. Пер. С англ. ВИНТИ-М. 1990, 36 с.
5. Журавлев В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные стали : Справочник.-4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1992.480 с.
6. Аверкиев А.Ю. Методы оценки штампуемости листового металла. М.: Машиностроение, 1985 176 с.
7. Арышевский Ю.М., Гречников Ф.В. Теория и расчеты пластического формоизменения анизотропных материалов. - М.: Металлургия, 1990. 304 с.