



In the article there is shown that at measuring of deformation characteristics using strain gage the high accuracy is provided, which complies with requirements of testing standards.

А. С. РОМАНЬКОВ, РУП «БМЗ»

УДК 669.187

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Металлы, их свойства и область применения

Металлы и сплавы можно разделить на две группы: конструкционные материалы, применяемые в различных областях машиностроения, строительства и др., а также материалы специального назначения, например, для электротехнической и электронной промышленности. Все материалы характеризуются широким спектром физико-механических свойств, определяемых на различных испытательных машинах.

Для конструкционных материалов наиболее важными являются механические свойства, которые определяют прочность, пластичность, штампуемость и другие характеристики. Исходя из конкретных требований выбирают тип испытательной машины (определяют максимальное усилие нагружающей рамы и датчика силы, необходимость комплектации машины дополнительным оборудованием, например, датчиком деформации для определения E -модуля и предела текучести). На рис. 1 представлена типичная диаграмма нагружения стального образца с начальной расчетной длиной 80 мм.

Из рисунка видно, что упругая деформация (до предела упругости) составляет примерно 0,06% (около 50 мкм), а пластическая деформация до разрушения образца — почти 32% (около 26 мм), т.е. превышает упругую более чем в 500 раз. Поэтому для определения свойств металла во всем диапазоне требуются датчики деформации, обладающие высокой разрешающей способностью и большим перемещением. Кроме того, датчик должен быть защищен от повреждений при разрушении образца. Под воздействием усилия во время ис-

пытания деформируется не только образец, но и компоненты испытательной машины: детали нагружающей рамы, датчик силы, захваты, образец вне расчетной длины. При испытаниях образцов высокой жесткости упругая деформация машины может быть значительной. Поэтому определение E -модуля, предела текучести и некоторых других параметров по перемещению подвижного захвата (траверсы) не дает точных результатов.

В соответствии с требованиями нормативно-технической документации к проведению испытаний нагружение образца на отдельных участках должно проводиться по-разному. Так, определение E -модуля и предела текучести проводится с постоянной скоростью нагружения, а временного сопротивления и относительного удлинения — с постоянной скоростью деформации.

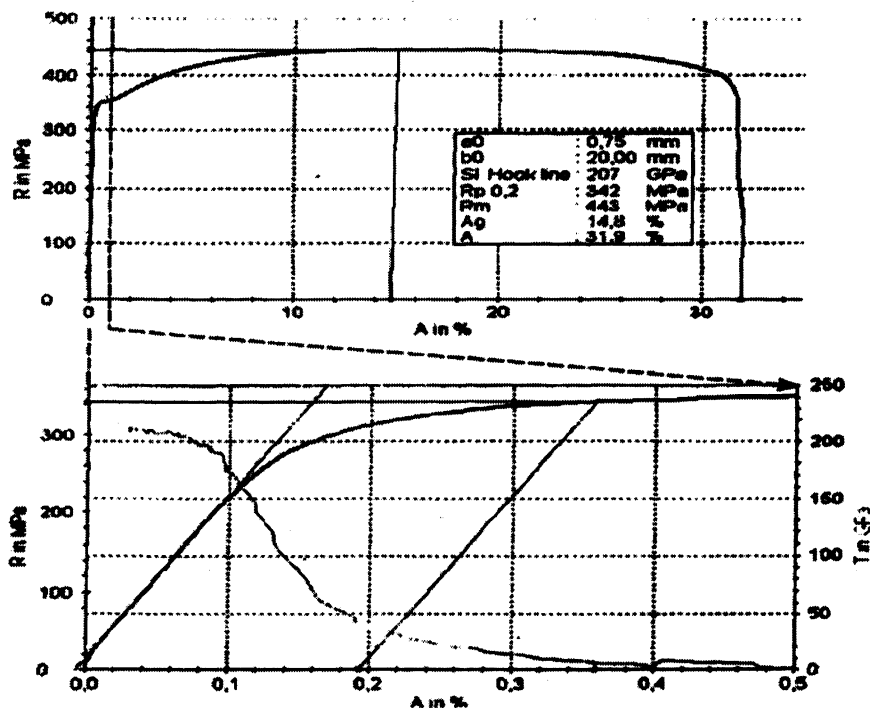


Рис. 1. Деформационно-силовая характеристика стального образца при растяжении; увеличенный фрагмент графика в диапазоне предела текучести 0,2 %

Все современные типы испытательных машин обеспечивают требуемый вид нагружения и дают возможность задавать необходимые скорости испытания. Переключение скоростей в ходе испытания – автоматическое. При этом реальную скорость перемещения подвижного захвата машины рассчитывает ПК исходя из размеров образца, модуля упругости, жесткости машины. Но если испытательная машина старого образца не укомплектована датчиком деформации, возникают проблемы с точностью определения относительного удлинения и временного сопротивления при испытании продукции.

Стандарты испытаний

Размеры образцов и условия их нагружения влияют на конечные результаты. Поэтому для получения сопоставимых результатов необходима унификация формы и размеров образцов, а также условий нагружения. Выполнить эту задачу призвана система стандартизации. Международные нормы, которые во многом дополняют национальные стандарты, являются важным шагом к дальнейшему улучшению унификации результатов испытаний. Как правило, каждые пять лет стандарты пересматриваются и уточняются, т.е. вносятся соответствующие изменения, которые направляются в комитеты по стандартам. Сотрудники организаций, производящих испытательные машины, принимают участие в работе многих из этих комитетов. Они привносят специальные знания в область испытательной техники, в свою очередь получая актуальную информацию, необходимую для дальнейшего совершенствования испытательной техники.

Экстензометры

Большинство испытательных машин, выпущенные после 1990 г., оснащены цифровым датчиком хода траверсы для измерения номинального удлинения. Измерение деформации с помощью хода траверсы подходит для многих видов испытаний на сжатие, изгиб. Но для определения модуля упругости или других измерений деформации, согласно стандартам, необходимо производить измерения непосредственно на самом образце. Для измерения продольной деформации существуют системы с различной длиной измерения, перемещением и разрешением: с контактным измерением и за-

креплением на образце вручную; с контактным измерением для ручного или автоматического подвода измерительных щупов к образцу; с бесконтактным оптическим измерением с нанесенными метками на образце.

На рис. 2 приведены деформационно-силовые характеристики при растяжении с использованием датчика деформации и без него. Как видно из рисунка, разница весьма существенная.

Практическое применение

Исходя из требований стандартов, по которым работают фирмы-потребители нашей продукции, мы были вынуждены провести модернизацию испытательных машин для обеспечения требуемой точности при определении E -модуля, предела текучести и относительного удлинения. Используемые у нас испытательные машины не были укомплектованы датчиками деформации.

Из-за необходимости испытывать образцы проволоки небольшого диаметра (0,15–1,8 мм), обладающие значительной жесткостью и небольшим процентом удлинения, для определения предела текучести, а также равномерного удлинения выбран второй тип датчика с начальной длиной измерения 10–205 мм, диапазон измерения 75–150 мм, разрешение 0,3–0,6 мкм, так как для определения E -модуля необходима система с небольшим перемещением и высоким разрешением. Длинноходовые и бесконтактные датчики ввиду низкого разрешения (длинноходовой – 5 мкм, оптический – 5, лазерный – 12, видео – 0,5–10 мкм) подходят только для измерения больших деформаций. У нас примерно 5–10%.

При исследовании измерений общей деформации на проволоке РМЛ (для рукавов высокого давления) диаметром 0,71 мм получены следующие результаты.

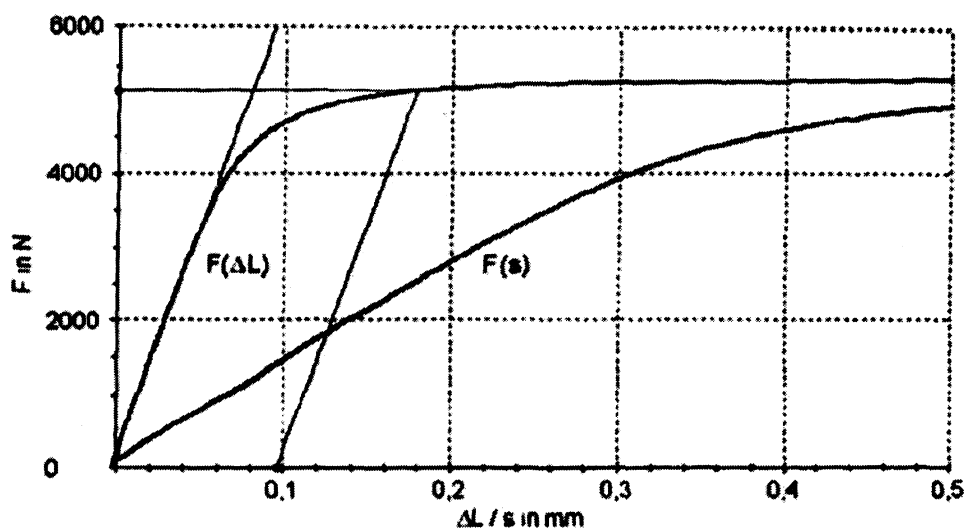


Рис. 2. Деформационно-силовая характеристика образца при растяжении – измерение посредством датчика продольной деформации $F(\Delta L)$, датчика перемещения траверсы $F(s)$

1. Общая деформация At на длине образца 250 мм при измерении по траверсе составила 3,76%, а при использовании датчика деформации – 2,78%. Различия в измерениях – 26% (протоколы испытаний 1, 2).

DIN EN 10002 Часть 1. Испытание металлов

Протокол 1

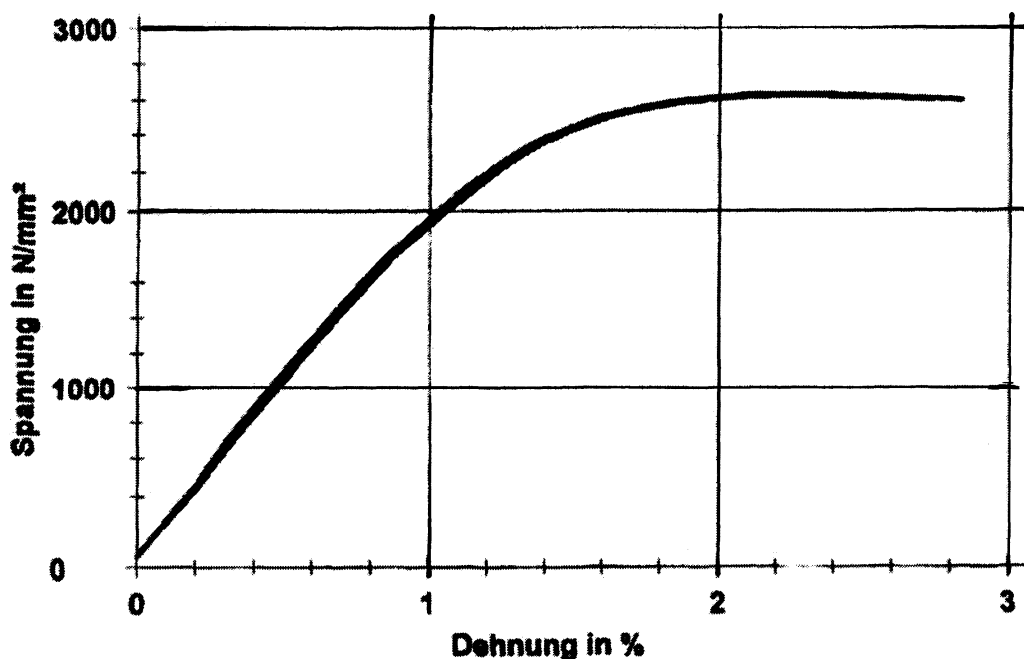
Таблица параметров

Предприятие	BMZ	Испыт. машина	Z1445
Оператор		Датчик силы	10kN
Образец	проволока 0.709mm Ст70	Способ измерений	С датч. деформ.
Проба/Плавка	382744/30658	Тип датчика	Multisens
Скорость испытаний	30 mm/min		

Испытания

Nr	Диаметр dO mm	L0 mm	S0 mm ¹	E Mod GPa	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Fm N	Ag _t %	Ag %	At %	A %
1	0,709	250	0,3948	203	2287	2631	1039	2,30	1,00	2,77	1,48
2	0,709	250	0,3948	198	2314	2627	1037	2,32	1,00	2,72	1,40
3	0,709	250	0,3948	200	2335	2627	1037	2,31	0,99	2,76	1,46
4	0,709	250	0,3948	201	2306	2629	1038	2,29	0,98	2,86	1,57
5	0,709	250	0,3948	211	2258	2632	1039	2,30	1,05	2,82	1,58

График серии



Статистика

Serie n = 5	Диаметр dO mm	L0 mm	S0 mm ²	E Mod GPa	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Fm N	Ag _t %	Ag %	At %	A %
X	0,709	250	0,3948	203	2300	2630	1038	2,30	1,00	2,78	1,50
s	0,000	0	0,000	5	29	2	1	0,01	0,03	0,06	0,08
v	0,00	0,00	0,00	2,33	1,26	0,09	0,09	0,51	2,54	1,99	5,07

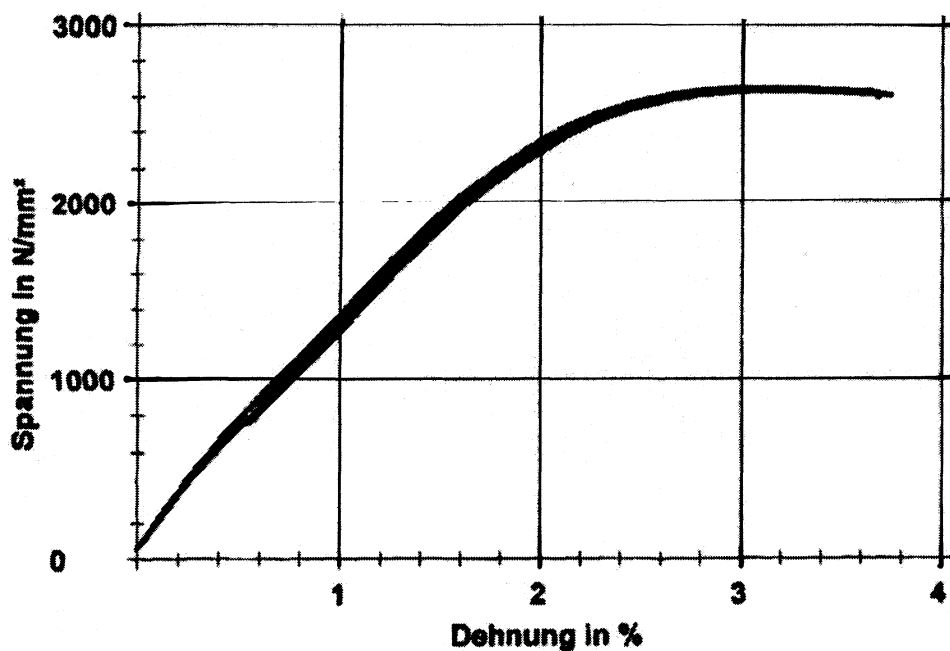
Таблица параметров

Предприятие	BMZ	Испыт. машина	Z1445
Оператор		Датчик силы	10kN
Образец	проволока 0.709mm Ст70	Способ измерений	перем. траверсы
Проба/Плавка	382744/30658	Тип датчика	Traverse
Скорость испытаний	30 mm/min		

Испытания

Nr	Диаметр dO mm	L0 mm	SO mm ²	Steigung GPa	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Fm N	Agt %	Ag %	At %	A %
1	0,709	250	0,3948	121	2373	2638	1041	3,24	1,05	3,84	1,67
2	0,709	250	0,3948	119	2356	2635	1040	3,27	1,05	3,57	1,37
3	0,709	250	0,3948	120	2387	2635	1040	3,20	1,00	3,76	1,58
4	0,709	250	0,3948	120	2364	2632	1039	3,21	1,02	3,81	1,64
5	0,709	250	0,3948	121	2377	2648	1046	3,22	1,03	3,80	1,66

График серии



Статистика

Serie n=5	Диаметр dO mm	LO mm	SO mm ²	Steigung GPa	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Fm N	Agt %	Ag %	At %	A %
X	0,709	250	0,3948	120	2371	2638	1041	3,23	1,03	3,76	1,58
s	0,000	0	0,000	1	12	6	3	0,03	0,02	0,11	0,13
v	0,00	0,02	0,00	0,76	0,51	0,24	0,24	0,84	2,24	2,80	7,89

2. При длине образца 200 мм общая деформация At по траверсе составила 4,03%, с датчи-

ком деформации – 2,83%, расхождение – почти 30%, (протоколы испытаний 3, 4).

DIN EN 10002 Часть 1. Испытание металлов

Протокол 3

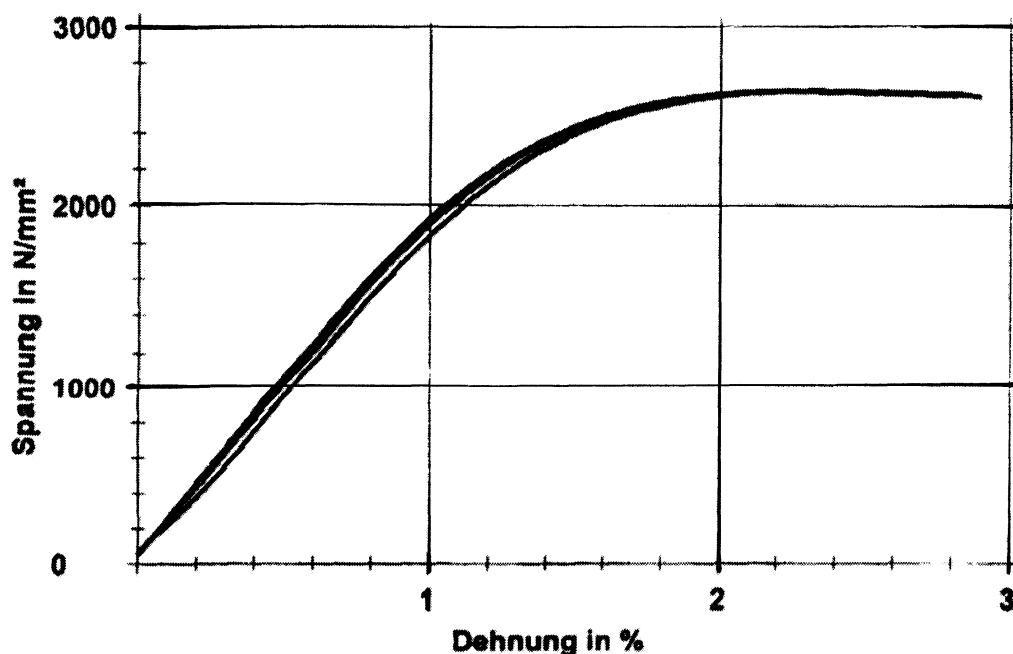
Таблица параметров

Предприятие	BMZ	Испыт. машина	Z1445
Оператор		Датчик силы	10kN
Образец	проволока 0.709mm Ст70	Способ измерений	С датч. деформ.
Проба/Плавка	382744/30658	Тип датчика	Multisens
Скорость испытаний	30 mm/min		

Испытания

Nr	Диаметр dO mm	LO mm	SO mm ²	Emod GPa	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Fm N	Agt %	Ag %	At %	A %
1	0,709	200	0,3948	196	2329	2642	1043	2,34	0,99	2,83	1,49
2	0,709	200	0,3948	201	2301	2633	1040	2,31	1,00	2,73	1,43
3	0,709	200	0,3948	196	2308	2633	1039	2,33	0,99	2,88	1,55
4	0,709	200	0,3948	202	2283	2630	1038	2,33	1,03	2,84	1,55
5	0,709	200	0,3948	195	2328	2640	1042	2,32	0,97	2,88	1,54

График серии



Статистика

Serie n=5	Диаметр dO mm	LO mm	SO mm ²	EMod GPa	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Fm N	Agt %	Ag %	At %	A %
X	0,709	200	0,3948	198	2310	2636	1041	2,33	1,00	2,83	1,51
s	0,000	0	0,000	3	20	5	2	0,01	0,02	0,06	0,05
v	0,00	0,00	0,00	1,66	0,85	0,19	0,19	0,56	2,24	2,25	3,32

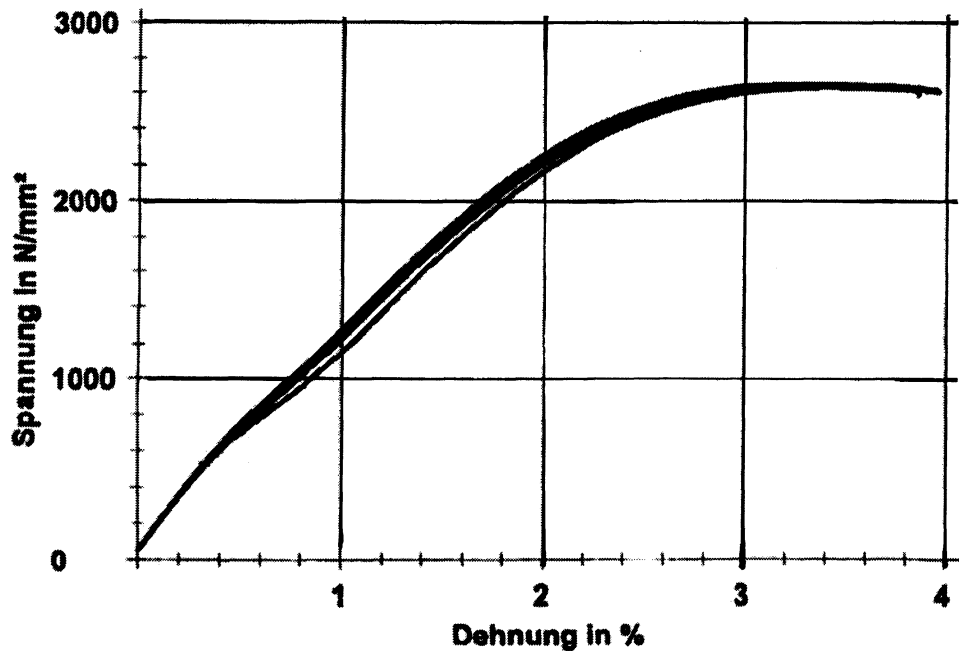
Таблица параметров

Предприятие	BMZ	Испыт. машина	Z1445
Оператор		Датчик силы	10kN
Образец	проволока 0.709mm Ст70	Способ измерений	
Проба/Плавка	382744/30658	Тип датчика	Traverse
Скорость испытаний	30 mm/min		

Испытания

№г	Диаметр d0 mm	L0 mm	S0 mm ²	S Steigung GPa	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Fm N	Ag _t %	Ag %	At %	A %
1	0,709	200	0,3948	111	2378	2645	1044	3,43	1,06	4,02	1,67
2	0,709	200	0,3948	111	2367	2635	1040	3,46	1,07	4,05	1,69
3	0,709	200	0,3948	109	2356	2630	1038	3,50	1,09	4,09	1,70
4	0,709	200	0,3948	110	2362	2636	1041	3,48	1,09	4,08	1,71
5	0,709	200	0,3948	109	2364	2626	1037	3,49	1,09	3,92	1,56

График серии



Статистика

Serie n = 5	Диаметр d0 mm	L0 mm	S0 mm ²	Steigung GPa	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Fm N	Ag _t %	Ag %	At %	A %
X	0,709	200	0,3948	110	2366	2634	1040	3,47	1,08	4,03	1,67
s	0,000	0	0,000	1	8	7	3	0,03	0,01	0,07	0,06
V	0,00	0,00	0,00	0,83	0,35	0,27	0,27	0,78	1,34	1,65	3,82

При использовании датчика деформации на различных расчетных длинах образца погрешность составила 1,5%, а при измерении с помощью датчика перемещения траверсы – 7%.

Вывод

Измеряя деформационные характеристики с использованием датчика деформации, обеспечивается высокая точность, соответствующая требованиям стандартов на испытания и контрактным требованиям потребителей нашей продукции.