

# Pernifer<sup>®</sup> 36 - сплав 36

Описание сплава №7101  
Издание июнь 2004

Специальный сплав (материал с низким коэффициентом расширения)

Pernifer<sup>®</sup> 36 - сплав 36

Pernifer<sup>®</sup> 36 - сплав 36

36

Pernifer<sup>®</sup> 36 - сплав 36

Pernifer<sup>®</sup> 36 - сплав 36

Pernifer<sup>®</sup> 36 - сплав 36

Pern

A company of  
ThyssenKrupp  
Stainless

**ThyssenKrupp VDM**



ThyssenKrupp VDM

## Pernifer 36 - сплав 36

Pernifer 36 это аустенитный бинарный сплав Fe-Ni с особо низким коэффициентом расширения, причем с особым контролем содержания углерода, марганца и примесей.

Сплав ферромагнитный при температуре ниже температуры Кюри и немагнитный при более высоких температурах.

Холодное формование уменьшает коэффициент термического расширения.

Трехфазная термообработка стабилизирует коэффициент термического расширения в выбранном температурном диапазоне. Pernifer 36 отличается:

- экстремально низким коэффициентом расширения в пределах  $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $-418$  и  $392\text{ }^{\circ}\text{F}$ );
- хорошей пластичностью, вязкостью;
- хорошими механическими качествами и малой склонностью к разрушению при низких температурах.

**Таблица 1** - Обозначения и стандарты

Страна Национальный стандарт	Описание материала	Спецификация				
		Хим. состав	Лист/плита	Полоса пруток	Лента	Проволока
<b>Германия</b>  DIN SEW	W.-Nr. 1.3912 Ni36	17745 385	385	385	385	385
<b>Франция</b> AFNOR	Fe-Ni36	A 54-301	A 54-301		A 54-301	A 54-301
<b>Англия</b> BS EN						
<b>США</b> ASTM	UNS K93600 Для термостата	B 388 B 753 (T-36)	B 388 B 753 (T-36)		B 388 B 753 (T-36)	
	UNS K93601 Для автоклава					
	UNS K93602 Для обработки со снятием стружки					
	UNS K93603 материал с низким Коэффициентом Терморасширения	F 1684	F 1684		F 1684	
AMS		I-23011				

**Таблица 2** - Химический состав (содержание % по массе) согласно ASTM B753 (T-36).

	Ni	Cr	Fe	C	Mn	Si	Co	P	S
min	35,0		основа						
max	37,0	0,25		0,15	0,60	0,40	0,50	0,025	0,025

Иные варианты Pernifer 36 с несколько модифицированным хим. Составом и/или малым коэффициентом расширения для специального применения, особенно в электронике, возможны под заказ.

Таблица 3 - Типичные физические свойства при комнатных и высоких температурах

Плотность	8,1 г/см <sup>3</sup>	0,293 ф/дм <sup>3</sup>
Температура плавления	1430°C	2606 °F
Температура Кюри	около 280°C	около 535°F
Специфическая теплота	515J/kg K	0.123Btu/lb.°F

Температура (Т)		Теплопроводность		Электрическое сопротивление		Модуль упругости		Коэффициент расширения от 20°C до Т	
°C	°F	W/m K	Btu In. Ft h °F	μΩ м	Ω circ mil ft	КН/мм <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup> ksi	10 <sup>-6</sup> /К	10 <sup>-5</sup> /°F
-250	-418	2,0	14	-		133	19.3	1,3-2,2	0.72-1.22
-200	-328	6,0	42	-		135	19.6	1,2-2,1	0.67-1.17
-100	-148	10,0	69	-		138	19.0	1,0-1,6	0,56-0,89
20	68	12,8	89	76		143	20.7	-	-
100	212	14,5	97	85		142	20.6	0,6-1,4	0,33-0,78
200	392	15,1	105	92		141	20.5	1,6-2,5	0,56-1,39
300	572	16,1	112	100		140	20.3	4,4-5,5	2,4-3,1
400	752	17,0	118	105		138	19	7,4-8,4	4,1-4,7
500	932	18,1	126	109		130	18.9	8,9-9,7	4,9-5,0
600	1112	19,5	135	113		120	17.4	10,0-10,7	5,6-5,9

### Структура

В состоянии смягчающего отжига Pernifer 36 имеет аустенитную структуру.

### Коррозионная стойкость

В сухой атмосфере Pernifer 36 устойчив к коррозии при комнатной температуре. При неблагоприятных условиях, например во влажной атмосфере, коррозия может проявляться в форме ржавчины.

### Области применения:

Pernifer 36 разработан для применения, при котором требуется минимально возможное термическое расширение.

Типичное применение:

- производство, хранение и транспортировка сжиженных газов,
- измерительные и контрольные приборы при температурах ниже 200 °C, например, термостаты,
  - втулки для навинчивающихся и заклепочных соединений между различными металлами,
  - биметаллические компоненты и термостатические биметаллы, причем Pernifer 36 выступает в роли пассивного компонента,
    - рамки диафрагм,
    - телевизионные тени-маски,
    - формы для изготовления усиленных карбонизацией искусственных деталей, в особенности, для аэронавигации,
    - рамки для электронных контрольных приборов на спутниках и космических кораблях до -200 °C,
    - поддерживающие элементы для электромагнитных линз в механизмах лазерного контроля,
- часовой маятник,
- компоненты для автомобильной промышленности.

Таблица 4 - Механические свойства Pernifer 2918 после мягкого отжига.

Температура (Т)		0,2% текучести $\sigma_{0,2}$		Предел прочности		Относительное удлинение $\delta_{50}$ %	ISO V- ударная вязкость Дж/см <sup>2</sup>
°C		Н/мм <sup>2</sup>	Ksi	Н/мм <sup>2</sup>	Ksi		
-250	-418	880	128	1000	145	40	
-240	-400	850	123	980	142	40	85
-200	-328	700	102	870	126	40	
-184	-300	670	97	840	122	40	
-129	-200	540	78	720	104	40	
-100	-148	500	73	670	97	40	100
-73	-100	430	62	630	91	40	
-18	0	330	48	540	78	40	
0	32	310	45	520	75	40	
20	68	270	34	490	71	40	132
93	200	180	26	435	63	45	
100	212	180	26	435	63	45	140
200	392	115	17	430	62	45	
204	400	115	17	430	62	45	
300	572	95	14	410	60	50	
316	600	95	14	405	59	50	
400	752	90	13	350	51	55	
427	800	90	13	340	49	55	
500	932	90	13	290	42	60	
538	1000	85	12	260	38	60	
600	1112	75	11	210	30	70	

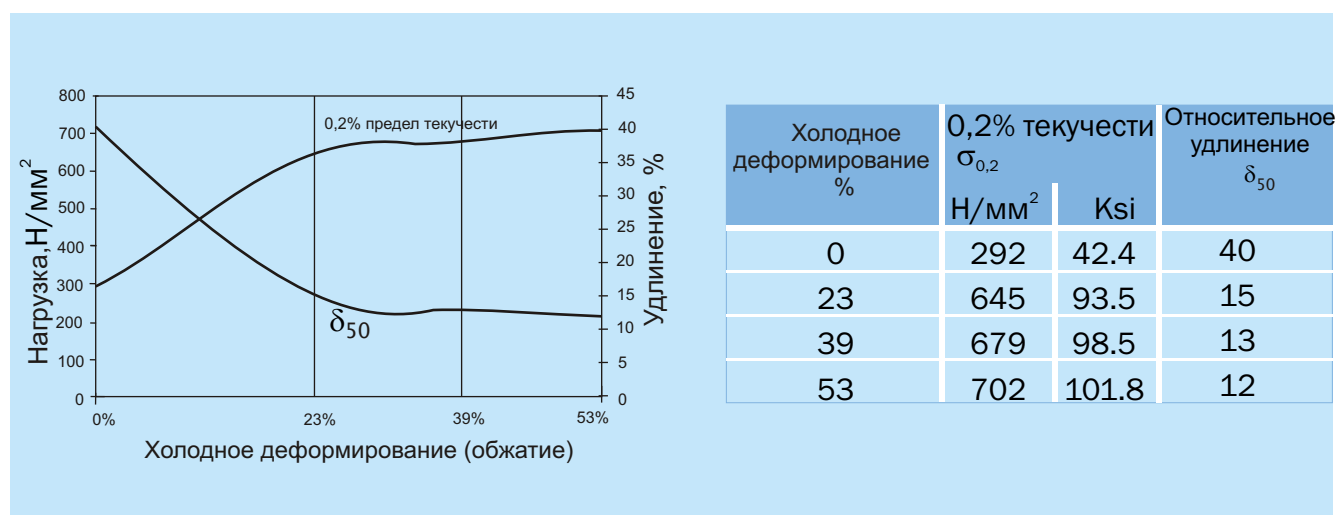


Рис.1-Механические свойства мягко отожженной полосы после холодного деформирования при 20 °C

### Переработка и термообработка

Pernifer 36 хорошо горячим и холодным формованием, резанием со снятием стружки. Обрабатываемость материала можно сравнить с обрабатываемостью аустенитных нержавеющей сталей.

### Нагрев

Изделия должны быть очищены предварительно и сохранены в чистоте во время термообработки.

Сера, фосфор, свинец и другие, легкоплавкие металлы могут при термообработке привести к повреждениям. Подобные примеси содержатся в маркировочных красках, смазочных жирах, маслах, горючем.

Рекомендуются горючие материалы с минимальным количеством серы. Процентное содержание серы в природном газе не должна превышать 0,1% по массе от общего содержания. Допустимо горючее масло с содержанием серы 0,5 % по массе от общего содержания.

Для соблюдение точных температурных условий и максимальной чистоты изделия желательны вакуумные электропечи или печи с защитным газом.

Возможна термообработка в газовых печах, но с низким показателем примесей, что возможно при нейтральной или слабоокислительной печной атмосфере.

Атмосфера в печи не должна колебаться между окислительной или восстановительной. Изделия не должны подвергаться непосредственному воздействию пламени.

### Горячее деформирование

Pernifer 36 подвергается горячему деформированию в температурном интервале от 1050 °C (1920 °F) до 800 °C (1470 °F) с последующим быстрым охлаждением в воде или ускоренным на воздухе.

Для нагрева, изделия помещаются в уже прогретую до максимально возможной рабочей температуры печь. Когда температура печи вновь достигнет макс. отметки, изделия на каждые 100 мм (4дм.) толщины должны оставаться в печи около 60 минут. После этого надо срочно приступить к деформированию.

Рекомендуется проводить термообработку после горячего деформирования материала для получения оптимальных свойств.

### Холодное деформирование

Изделие для проведения данной обработки должно быть в отожженном состоянии.

Pernifer 36 имеет такие же показатели холодного упрочнения в сравнении как и другие аустенитные, нержавеющей стали. Это должно быть учтено при выборе формообразующей техники.

При интенсивном холодном формообразовании необходим промежуточный отжиг.

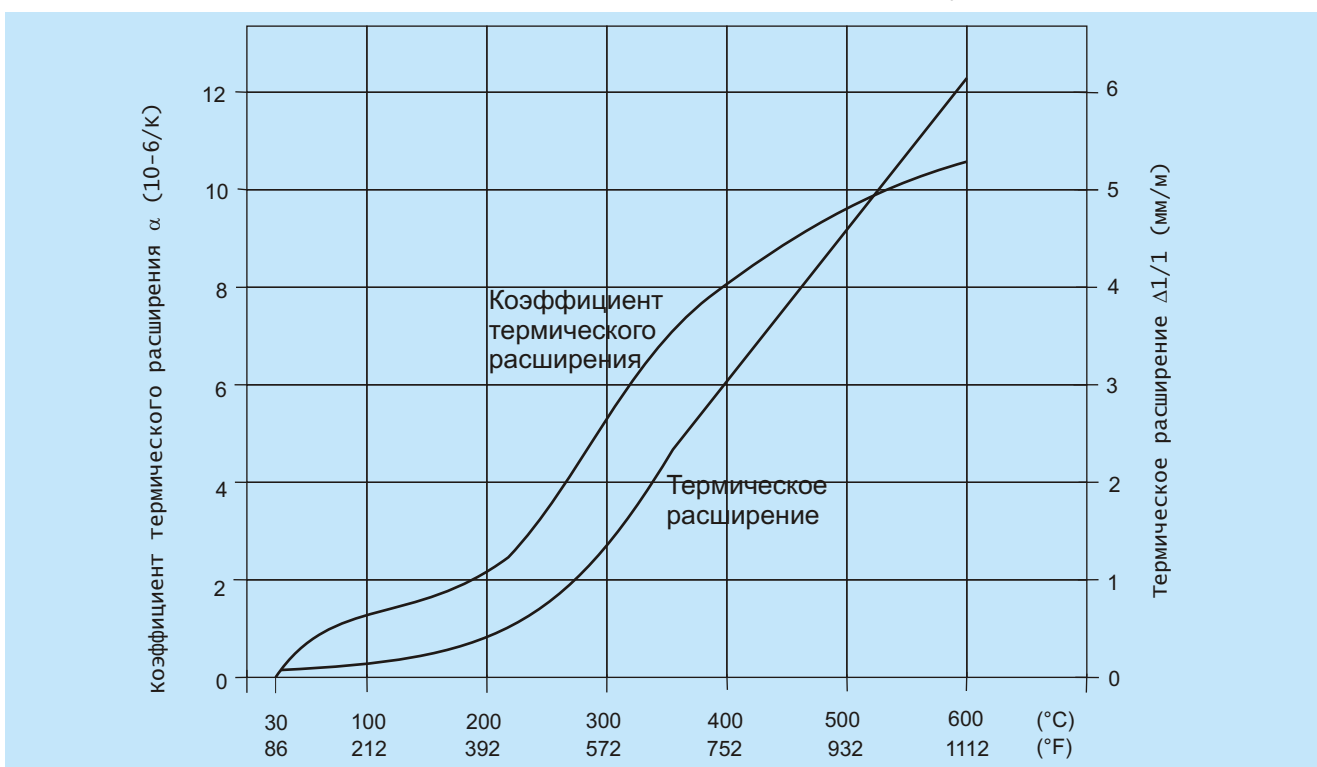


Рис.2- Типичные изменения коэффициента термического расширения и термического расширения в зависимости от температуры.

При определенных обстоятельствах холодно деформированные структуры проявляют преимущества, т.к. благодаря этому способу деформирования снижается коэффициент термического расширения. Это состояние не стабильно. Особенно при высоких температурах.

#### Термообработка

Смягчающий отжиг производится при температурах 820 °С-900 °С (1510-1650 °F) с последующим охлаждением на воздухе.

Хотя охлаждение водой после смягчающего отжига обеспечивает меньший коэффициент терморасширения, все же происходит это не в стабильной структуре. При холодном деформировании менее 10% температура отжига не должна превышать 860 °С (1580 °F).

Снимающий напряжение отжиг производится при температурах ниже 360 °С (680 °F), однако более эффективный отжиг проводят при температурах около 650 °С (1200 °F).

Наименьшие показатели расширения до 100 °С (1200 °F) достигаются в результате трех стадийной термообработки:

- 1) Термическая обработка около 30 мин. при 830 °С (1526 °F) с последующим водным охлаждением,
- 2) Повторный нагрев до 300 °С (572 °F), фиксирование температуры в течение часа, охлаждение на воздухе.
- 3) Нагрев до 100 °С (212 °F), фиксирование температуры на 30 мин., охлаждение в печи в течении 48 часов до комнатной температуры.

При термообработке материал помещается в уже прогретую до макс. температуры отжига печь. Нагрев требует соблюдения предписаний чистоты.

#### Удаление окалины

Оксиды Pernifer 36 и цвета побежалости удерживаются в области сваривания прочнее, чем у нержавеющей стали. Рекомендуется шлифование мелко абразивной лентой, шлифовальным кругом. Необходим дополнительный уход для избежания потускнения.

Перед травлением, проводимым в растворе соляной кислоты, при точном соблюдении времени и температуры травления, окисные слои должны быть разрушены абразивной продувкой и тщательно обработаны шлифовкой или предварительной обработкой в расплаве солей. Особенно эффективным является ванна из 20% раствор соляной кислоты при 70 °С.

Нужно избегать растворов для травления на базе азотной или фторводородной кислоты, т.к. они в целом агрессивны при травлении Pernifer 36.

Рекомендуется избегать перегрева, а перед травлением проводить испытательные пробы.

#### Механическая обработка

Pernifer 36 - это вязкий и пластичный материал и нелегко поддается механической обработке. Его обрабатывают в отожженном состоянии. Pernifer 36 при данном виде обработки проявляет качества, подобные аустенитным нержавеющим сталям.

Из-за его высокой пластичности, стружка имеет шнуроподобную форму и высокую вязкость, что может приводить к быстрому износу краев режущего инструмента. Инструмент должен быть постоянно в зацеплении. В целом, скорость, как и продвижение не должны быть интенсивными для избежания избыточного перегрева и минимизирования возможности влияния избыточного тепла на характеристики расширения.

Быстрорежущая сталь или упрочненный карбидными компонентами инструмент необходимы для механической обработки данного сплава.

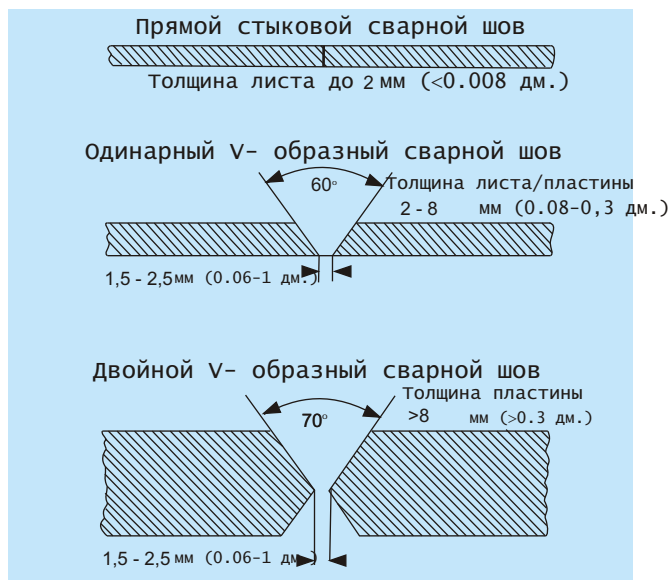


Рис. 3 - Подготовка шва для аргоно-дуговой сварки

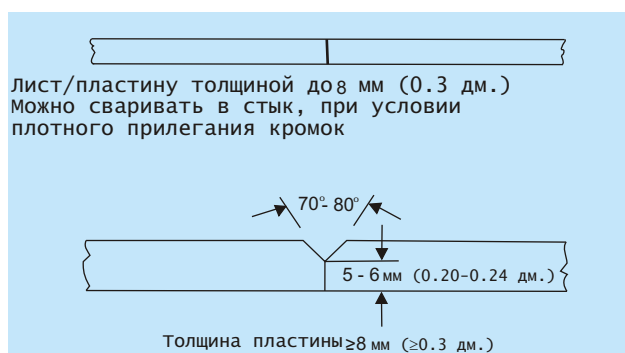


Рис. 4 - Подготовка шва для сварки плазмой и штрих-точечным методом.

Как и у других высокопрочных никелевых сплавов, так и у Pernifer 36 в области температур от 650-700°C, особенно у холоднодеформированных сварных соединений, может проявиться так называемое образование трещин от релаксации напряжения. Для снижения напряжения и для целенаправленного влияния на процессы выделения в таких случаях рекомендуется стабилизирующий отжиг.

#### Удаление окалины

Высокотемпературные материалы образуют в производстве защитные окисные слои. Предварительное окисление на воздухе может привести к повышенной коррозионной стойкости. Поэтому следует проверять необходимость удаления окалины.

Окиси Pernifer 36 и цвета побежалости в области сварных швов проявляются прочнее, чем у нержавеющей сталей. Рекомендуется шлифование очень мелкими абразивными лентами или шлифовальными кругами.

Перед травлением в смеси азотной и плавиковой кислот слои окиси должны быть удалены пескоструйной обработкой или аккуратным шлифованием или предварительно обработаны в расплавленных солевых электролитах. Особое внимание следует уделить времени травления.

#### Режущая обработка

Pernifer 36 предпочтительно обрабатывать в отожженном состоянии. Так как сплавы склонны к наклепу, следует выбирать низкую скорость резания и режущий инструмент должен постоянно оставаться в действии.

Важна достаточная глубина резания, чтобы резать прежде возникшую нагарованную зону.

#### Технические указания по сварке

При сварке никелевых базовых сплавов следует учитывать ниже приведенные указания.

#### Рабочее место

Предусмотреть отдельно устроенное рабочее место, четко отделенное от зон, где обрабатывается углеродистая сталь. Предусмотреть самую тщательную чистоту и защитные перегородки; избегать сквозняка.

#### Вспомогательные средства, одежда

Использовать чистые тонкие кожаные рукавицы, чистую рабочую одежду.

#### Инструменты и машины

Инструменты, использовать исключительно для никелевых базовых сплавов; щетки из нержавеющей стали. Перерабатывающие и обрабатывающие станки, такие как ножницы, тиски или валики, следует так оборудовать (войлок, картон, фольга), чтобы исключить частички железа, которые могут быть вдавлены в поверхность материала и, в конечном счете, привести к коррозии.

#### Процесс сваривания

Pernifer 36 можно сваривать, или приваривать к другим материалам, с помощью большинства традиционных методов сваривания. Эти методы включают обычную вольфрамовую сварку, дуговую сварку или же газозащитную сварку. Предпочтительно использование техники сваривания пульсирующей дугой. Также рекомендуется использование Ar+2%N<sub>2</sub> в качестве защитного газа.

Перед свариванием Pernifer 36 должен быть отожженным и с него должна быть удалена окалина, смазка или маркировочная краска. При сваривании основы, следует уделять пристальное внимание созданию основы (аргон 9,99), с таким расчетом, чтобы после сварочных работ не образовались оксиды на сварочном шве. Цвета побежалости, которые образуются после нагревания предпочтительнее снимать с помощью чистки щеткой из нержавеющей стали пока свариваемый металл еще горячий.

#### Присадочный материал

Если низкий коэффициент термического расширения является основополагающим при использовании изделия, сваренного газозащитной сваркой, то необходимо использовать исключительно присадочный материал идентичного состава основному металлу.

Однако, если низкий коэффициент термического расширения не является основной целью, то возможно использование обычного процесса газозащитной сварки с применением присадочного материала Nicrofer S7020-FM 82.

Электроды без покрытия: Для достижения самого низкого Коэффициента термического Расширения до 200°C (392°F)

Pernifer S-6436  
описание №.1.3912

Возможная альтернатива, в  
Случае отсутствия необходимости  
В низком коэффициенте  
Термического расширения

NicroferS-7020 FM-82  
Описание №. 2.4806  
SG-NiCr20Nb  
AWS A5.14: ERNiCr-3

#### Параметры сварки и ее влияние

Нужно позаботиться об экономном расходе тепла при установленном процессе термообработки, как это показано в таб. 5. Про-межуточная температура не должна превышать 130 °C. Нужно стремиться к использованию штриховой гусеничной технике. Принципиально важным остается контроль параметров сварки.

Показатель подвода тепла может рассчитываться следующим образом:

$$Q = \frac{U \times I \times 60}{V \times 1000} \text{ (kJ/cm)}$$

U - напряжение дуги, вольт  
I - сила тока, ампер  
V - скорость сварки, См/мин.

Рекомендуются согласованные со сварочной лабораторией действия.

## Завершающая обработка (Зачистка, травление, термообработка)

Для оптимального выполнения работ непосредственно после сварки используются щетки, когда материал в еще теплом состоянии, без дополнительного травления и до желаемого состояния поверхности, т.е. Цвета побежалости могут быть удалены полностью.

Травление, если предписано или необходимо, в целом, является завершающей стадией сварки. Соблюдайте указания, данные в разделе «Удаление окалины и травление».

Термообработка, как правило, не проводится ни предварительно, ни после сварки.

Таблица 5- Параметры сварки (директивные показатели)

Толщ. листа  мм	Способ сварки	Присадка диам. скор.		Параметры сварки				Скор. сварки  см/мин.	Защит.газ кол во -  л/мин.	Кол-во Теплоты на единицу длины КДж/см
		мм	м/мин.	Проход		Промежуточный и окончательный Проход				
				I A	U V	I A	U V			
2,0	ДСВЭ ручн.	2,0		70	9			15	ArW 3 <sup>1)</sup> 8	3,5
6,0	ДСВЭ ручн.	2,0-2,4		90	10	130	13	16	ArW 2 <sup>11)</sup> 8	6,5
12,0	ДСВЭ ручн.	2,4		100	10	140	14	16	ArW 2 <sup>1)</sup> 8	6,5
3,0	ДСВЭ механизир.	1,2	1,0	Ручн.		150	13	25	ArW 2 <sup>1)</sup> 12-15	7
5,0	ДСВЭ механизир.	1,2	1,0	Ручн.		150	13	25	ArW 2 <sup>1)</sup> 12-15	7
≥ 10,0	ДСВЭ механизир.	1,2	1,5	Ручн.		200	14	20-25	ArW 2 <sup>1)</sup> 15	7
6,0	Плазменная сварка	1,2	0,5			220	26	26	ArW 2 <sup>1)</sup>	
8,0	Плазменная сварка	1,2	0,5			240	27	25	ArW 2 <sup>1)</sup> 30	

1 Аргон + max 2 % водорода, аргон.

2 ДСВЭ горячая проволока также возможна

Для всех сварок с защитным газом нужно обращать внимание на основную защиту.  
Данные это показатели, облегчающие установку сварочных аппаратов.



**Состояние поставки**

Pernifer 36 поставляется в стандартных заготовочных формах:

**Лист/плита (для определенных размеров см. раздел Полоса)**

Состояние поставки:

Горячее- и холодно катанный, термообработанный и протравленный.

Толщина мм		Ширина* мм	Длина* мм
1,00 < 1,50	Х/к	2000	8000
1,50 < 3,0	Х/к	2500	8000
3,0 < 7,5	Х/к	2500	8000
7,5 ≤ 25,0	Г/к	2500	8000 <sup>2)</sup>
≥ 25 <sup>1)</sup>	Г/к		8000 <sup>2)</sup>

Толщина дюймы		Ширина* дюймы	Длина* дюймы
0.043 < 0,060	Х/к	80	320
0,060 < 0.12	Х/к	100	320
0.12 < 0.30	Х/к	100	320
0.30 ≤ 1.0	Г/к	100	320 <sup>2)</sup>
≥ 1.0 <sup>1)</sup>	Г/к	100 <sup>2)</sup>	320 <sup>2)</sup>

1) другие размеры по запросу

2) зависит от штучного веса

**Рулоны и бухты**

Состояние поставки:

Горячекатанные или кованные, термообработанные, протравленные или механически обработанные.

Наименование	Вес кг	Толщина мм	Внеш-Ø* мм	Внут-Ø* мм
Рулон	≤10000	≤ 300	≤ 3000	-
Бухта	≤ 3000	≤ 200	≤ 2500	по запросу
	Фунты	Дюймы	Дюймы	Дюймы
Рулон	≤ 2200	≤ 12	≤ 120	-
Бухта	≤ 6600	≤ 8	≤ 100	по запросу

\* другие размеры по запросу

**Прутки и бруски**

Состояние поставки:

кованный, катанный, волооченный, термообработанный, протравленный, перетянутый, обточенный или отшлифованный

Продукт	Кованые* мм	Вальцованные* мм	Волооченные* мм
Прут круглый Ø	≤ 600	8-100	12-65
Брус квадратный a	40-600	15-280	-
Брус плоский a x b	40-80 x 200-600	5-20 x 120-600	10-20 x 30-80
Брус Гексагональный S	40-80	13-41	≤50
	Дюймы	Дюймы	Дюймы
Прут круглый Ø	≤24	5/16 - 4	½ - 2 ½
Брус квадратный a	1 5/8 - 24	10/16 - 11	-
Брус плоский a x b	1 5/8 - 3 1/8 x 8 - 24	3/16 - 3/4 4 3/4 - 24	3/8 - 3/4 x1 1/4 - 3 1/8
Брус Гексагональный S	1 5/8 - 3 1/8	½ - 1 5/8	≤2

\* другие размеры по запросу

**Поковка**

Другие формы, как диски, бухты и круги поставляются под заказ. Балки и полые валы до 10 тонн штучного веса.

10

**Лента 1)**

Состояние поставки:

Холоднокатаные,

Термообработанная и про травленная или отожженная 2)

Толщина мм	Ширина мм	Мотки внутрен. Ø мм			
		300	400	500	600
0,02 ≤ 0,10	4-200	300	400		
> 0,10 ≤ 0,20	4-350	300	400	500	
> 0,20 ≤ 0,25	4-750		400	500	600
> 0,25 ≤ 0,60	6-750		400	500	600
> 0,60 ≤ 1,0	8-750		400	500	600
> 1,0 ≤ 2,0	15-750		400	500	600
> 2,0 - 3,5 <sup>2)</sup>	25-750		400	500	600

Толщина мм	Ширина мм	Мотки внутрен. Ø мм			
		12	16	20	24
0.008 ≤ 0,004	0.16- 8 <sup>3)</sup>	12	16		
> 0,004 ≤ 0,008	0.16-14 <sup>3)</sup>	12	16	20	
> 0,008 ≤ 0,010	0.16-30 <sup>3)</sup>		16	20	24
> 0,010 ≤ 0,024	0.20-30 <sup>3)</sup>		16	20	24
> 0,024 ≤ 0.04	0.32-30 <sup>3)</sup>		16	20	24
> 0,04 ≤ 0,08	0.60-30 <sup>3)</sup>		16	20	24
> 0,08 ≤ 0,14 <sup>2)</sup>	1.0 -30 <sup>4)</sup>		16	20	24

<sup>1</sup> Лента поставляется в отрезках 250 - 4000 мм.(10-158 дм.)<sup>2</sup> Максимальная толщина отожженных листов 3.5 мм (1.14 дм.)<sup>3</sup> обжатие до 730 мм (29 дм.) является объектом дополнительного обсуждения.<sup>4</sup> Больше обжатие под заказ.**Проволока**

Состояние поставки:

Сухое или влажное волочение (в зависимости от размеров), 1/4 твердости до жесткой, после светлого отжига.

Размеры

0,01 - 12,0 мм

В бухтах, пачках, катушках, на насадочном стержне.

**Сварочная присадка**

Сварочный прут, проволока и лента-электроды поставляются в стандартных размерах.

**Бесшовные трубы**

Для информации обращайтесь в представительство компании ThyssenKrupp VDM.

**Трубы с продольным швом**

Изготавливаются и сбываются известными производителями. При этом используются заготовочные материалы от ThyssenKrupp VDM