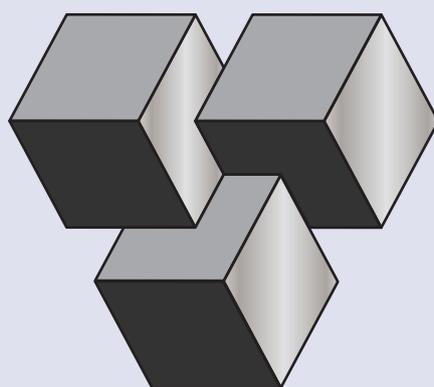




НИКЕЛЬ И ЕГО ФОРМЫ



ООО "Метотехника"
<http://www.metotech.ru>
Москва, 2009

Целью данной статьи является обзор видов и марок продукции из никеля и никелевых сплавов, основных технологий производства данной продукции и областей её применения.

Марки никеля и их обозначение

В названии марки буква Н означает «Никель», а цифра (от 0 до 4) является характеристикой химической чистоты (см. след. параграф), как видно из таблицы – увеличение номера характеризует уменьшение количества основного вещества (никеля) в объекте исследования.

В названии марок сплавов, где присутствует буква «П» – она означает маркировку полуфабрикатных изделий. «А» – означает анодную продукцию. Вторая буква «Н» (к примеру, в марке НПАН) употребляется только в марках анодов и означает неpassивиримость.

С помощью электролиза¹ изготавливают марки Н-0, Н-1у, Н-1 и Н-2; путём переплава отходов никеля допускается изготовления марок Н-2, Н-3 и Н-4; с помощью огневого рафинирования² – только марки Н-3 и Н-4. Марки применяются для легирования³ различных никельсодержащих сталей и сплавов.

В чистом виде никель (марки Н0, Н1) применяется только для никелирования других металлических изделий.

Формы изготовления никеля

Марка	Форма изготовления
Н-0	Катодные листы Полосы Пластины
Н-1у	Катодные листы Полосы Пластины
Н-1	Катодные листы Полосы Пластины
Н-2	Катодные листы Полосы Пластины Слитки Гранулы Обрезь
Н-3	Катодные листы Полосы Пластины Слитки Гранулы Обрезь
Н-4	Слитки Гранулы Обрезь Полосы Пластины

¹ Электролиз (от греч. «electro» и «lysis» - разожение, распад) - разложение сложного вещества пропусканием через него электрич. тока.

² Огневое рафинирование производят для удаления железа, серы и других примесей, ухудшающих свойства меди. Операция огневого рафинирования слагается из расплавления металла, окисления примесей, удаления растворенных газов и раскисления.

³ Легирование в металлургии – это добавление в металлический расплав или шихту (холодную смесь исходных компонентов, подлежащую дальнейшей переплавке) дополнительных компонентов.

В следующей таблице раскрыт более подробно химический состав, которым характеризуются формы изготовления никеля.

		Наименование металла	Никель полуфабрикатный				Никель полуфабрикатный анодный неактивирующийся	Никель полуфабрикатный анодный	
			НП1	НП2	НП3	НП4		НПА1	НПА2
Марка									
Химический состав, %	Основной компонент	Никель + Кобальт не менее	99,9	99,5	99,3	99,0	99,4	99,7	99,0
		Медь	-	-	-	-	0,01-0,10	-	-
		Кислород	-	-	-	-	0,03-0,30	-	-
		Сера	-	-	-	-	0,002-0,01	-	-
	Примесь, не более	Железо	0,04	0,10	0,15	0,30	0,10	0,10	0,25
		Кремний	0,03	0,15	0,15	0,15	0,03	0,03	0,15
		Магний	0,01	0,10	0,10	0,10	-	0,10	0,10
		Марганец	0,002	0,05	0,20	0,20	0,05	0,10	0,15
		Медь	0,015	0,10	0,15	0,15	-	0,10	0,15
		Свинец	0,001	0,002	-	-	-	-	-
		Сера	0,001	0,005	0,015	0,015	-	0,005	0,005
		Углерод	0,01	0,10	0,15	0,10	-	0,02	0,1
		Фосфор	0,001	0,002	-	-	-	-	-
		Висмут	0,001	0,002	-	-	-	-	-
		Мышьяк	0,001	0,002	-	-	-	-	-
		Сурьма	0,001	0,002	-	-	-	-	-
		Цинк	0,005	0,007	-	-	-	-	-
		Кадмий	0,001	0,002	-	-	-	-	-
		Олово	0,001	0,002	-	-	-	-	-
	Всего	0,1	0,5	0,7	1,0	0,6	0,3	1,0	
Вид изделия		Проволока, прутки, ленты, листы, полосы	Полосы, овальные стержни	Полосы, овальные стержни	Полосы, овальные стержни				
Примерное назначение		Для деталей специального назначения	Для приборостроения и машиностроения	Для приборостроения и машиностроения	Для приборостроения и машиностроения	Для электролитического покрытия	Для электролитического покрытия	Для электролитического покрытия	

Никелирование

Под никелированием понимается процесс нанесения слоя никеля толщиной от 0,05 до 0,125 мм. на поверхности другого металла с целью защиты его от коррозии (в атмосферных условиях, в растворах щелочей, солей и слабых органических кислот) и/или механического повреждения, улучшения прочностных характеристик и износостойкости изделий, а также в декоративных и эстетических целях. Никелевые напыления со временем частично теряют свой первоначальный блеск, поэтому часто на слой никеля наносят более стойкий слой хрома.

Существует множество областей применения никелирования: для покрытия деталей автомобилей и велосипедов, медицинских инструментов и приборов, бытовой техники, и т.п., а также деталей и частей механизмов, которые эксплуатируются в условиях сухого трения.

Разделяют гальваническое (электролитическое) и химическое никелирование. Гальваническое никелерование – это нанесение металлических покрытий на поверхность металлических изделий методом электролитического (см. «электролиз» в прим. 1) осаждения никеля.

Для защиты изделия от агрессивных газовых средств рекомендуется использовать многослойное покрытие, чередуя никелерование с хромированием, кадмированием, цинкованием. Кроме того, слой никеля, созданный гальваническим способом, обладает пористостью, зависящей от тщательности подготовки поверхности основы и от толщины покрытия, поэтому обычно производят предварительное меднение или наносят многослойное покрытие, которое при равной толщине надёжнее однослойного.

Никелевые покрытия наносят на железо, медь, титан, алюминий, бериллий, вольфрам, а также на сплавы, преимущественно, на основе меди, цинка и алюминия.

У гальванического никелерования есть два основных недостатка: во-первых неравномерность осаждения никеля на рельефной поверхности, во-вторых невозможность покрытия узких и глубоких отверстий, полостей и пр.

Химическое никелирование дороже гальванического, но зато обеспечивает возможность нанесения равномерного по толщине и качеству покрытия на любых участках поверхности со сложным рельефом (разумеется, при возможности доступа раствора к ним). В основе процесса химического никелирования лежит реакция восстановления ионов никеля из его солей гипофосфитом натрия (или др. восстановителей) в водных растворах.

При гальваническом никелировании используется никель в катодной или анодной форме изготовления.

Легирование никелем

Легирование в металлургии – это добавление в металлический расплав или шихту (холодную смесь исходных компонентов, подлежащую дальнейшей переплавке) дополнительных компонентов. Использование никеля в качестве легирующей добавки имеет огромную важность в металлургии, однако эффект от его введения в расплав или шихту зависит от многих факторов (и самого состава расплава прежде всего). Поэтому в рамках данной статьи этот вопрос не может быть освещен достаточно подробно. Скажем лишь, что легирование никелем позволяет значительно улучшить физические, химические, прочностные и технологические свойства, а также конструкционную прочность того или иного металла.

Никелевые листы: аноды и катоды

Никелевые аноды⁴ и катоды⁵ (изготавливаются по ГОСТ 2132-90) представляют из себя листы, производящиеся по утвержденным стандартам и технологическим условиям. Размеры листов колеблются:

- по толщине – 5 – 20 мм.
- по ширине – 500 – 800 мм.
- по длине – 500 – 2000 мм. (допустимое отклонение по длине – 20 мм.)

Производятся листы мерной (кратной 100 мм.) и немерной длины.

Обычно, их производят из никеля марок НП-1, НП-2, НП-3 и НП-4 по ГОСТ 492–73. Для продукции специального назначения используют никелевый лист, изготовленный из никеля марки НП-1, содержание никеля в котором должно быть не менее 99,9%. В областях машино- и приборостроения используется, как правило, никелевый лист марки НП-2, с содержанием никеля не менее 99,5%. Листы марок НП-3 и НП-4 с содержанием никеля 99,3% и 99,0% используются в менее технологичных областях промышленности. Свойства никелевых листов напрямую зависят от содержания инородных примесей. Наиболее ухудшающими технологические и механические характеристики являются включения серы, сурьмы, цинка, свинца и висмута. В частности, сера опасна тем, что образует сульфидную пленку, которая легко плавится при температуре около 645 °С и вызывает горячеломкость листа.

⁴ От др.-греч. ἄνοδος «путь вверх, восхождение», из ἀνά «вверху, вверх, обратно» + др.-греч. ὁδός «дорога, путь». Это положительный электрод источника электрического тока, например положительного полюса гальванического элемента или электрического аккумулятора.

⁵ Катод (от греч. κάθοδος - ход вниз; возвращение) — отрицательный полюс источника тока.

Основным методом очистки от плёнок никелевого листа является электрорафинирование. Никелевый лист, подвергающийся очистке, размещают в растворе электролита (химический состав - сульфата никеля с серной кислотой), и подключают к электрической цепи в положении анода. На катоде (обычно используются тонкие листы чистого никеля), выделяется чистый металл.

Кроме того, около анода выделяется “анодный шлам” - черный порошок, и состоящий приблизительно на 60% из металлов платиновой группы. Шлам разделяют на отдельные чистые химические элементы, и их стоимость окупает расходы на весь процесс электрорафинирования.

Аноды подвержены такому негативному явлению, как пассивация. Под пассивацией понимается образование тонкой пленки с высоким сопротивлением на поверхности анодного листа – она формируется в результате взаимодействия электролита с металлом. Негативным следствием пассивации является задержка напряжения.

Общая тенденция такова: чем больше серы в массе никеля, тем меньше вероятность их пассивации при высоких плотностях тока. С другой стороны, чем больше серы включается в покрытие, тем выше скорость растворения (коррозии) таких покрытий при их эксплуатации.

Существуют также непассивирующиеся никелевые аноды (марка НПАН) – они производятся толщиной не менее 10 мм. Непассивирующиеся аноды – это аноды, на поверхности которых не образуется плёнка при взаимодействии с электролитами. Это происходит по причине того, что в химическом составе анодов НПАН присутствует сера (0,002-0,01%).

Существуют также никелевые листы, не являющиеся ни анодами, ни катодами – они используются как шихта⁶, а также в производстве высокочистых лент марки НО (для электровакуумных приборов).

Никелевая проволока

Никелевую проволоку используют в самых разных областях техники и промышленности: в радио- и телевизионной технике (изготовление катодов и сеток радиоламп и СВЧ-приборов, иногда как высокоомный провод для сопротивлений термокомпенсации, для термопар); гальванопластике (электроды), иногда на электроэрозионных станках; для вакуумного напыления никелевых покрытий в качестве источника никеля; в физике для

⁶ Шихта - холодная смесь исходных компонентов, подлежащая дальнейшей переплавке.

изготовления не-которых деталей, работающих в вакууме; в химии как одна из форм никеля, удобная для практических применений - например, в виде сеток для катализа; бытовой технике, сфере компьютерной индустрии и т.п. вообще как конст-рукционный материал там, где надо избежать образования гальванической пары с никелевыми деталями.

Проволока изготавливается, как правило, из никеля марок НП2, НП3 и НП4. Существуют два основных типа проволоки: твердая (нагартованная) и мягкая (отожженная). В том случае, если никелевая проволока имеет диаметр менее 0,09 мм, то допускается изготовление проволоки только первого типа; при толщине более 0,09 мм – допускается изготовление обоих типов.

Существует также проволока из кремнистого никеля, а также никель-марганцевая. Кремнистый никель – такие марки как НК 0,4, НК 0,2Э – используется для катодов и других деталей электронных приборов. Никель-марганцевая проволока используется в сетках управления ртутных выпрями-телей (НМц1), термически низконагруженных частей электронных ламп повышенной прочности, держателей сеток (НМц2), для свечей автомобильных, авиационных и тракторных двигателей (НМц2,5), для радио-ламп (НМц5).

Такой сплав, как алюмель включает в себя примеси кремния и марганца одновременно.

Маркировка проволоки производится в соответствии с ГОСТ 2179-75: «Проволока из никеля и кремнистого никеля. Технические условия». Марка НП2 является самым распространённым сортом для никелевой проволоки.

Существует ряд требований к качеству никелевой проволоки: чистая поверхность, без трещин, пористости, расслоений, и т.п. Допускаются незначительные (в пределах ГОСТ) отклонения от номинального диаметра, незначительная шероховатость, остатки смазки. Однако проволока микронных диаметров обычно изготавливается в соответствии с требованиями конкретного заказчика, поскольку такие диаметры обычно используются в высоко-точной и высокотехнологичной промышленности.

Никелевая лента и никелевая полоса

Никелевая лента используется, преимущественно, в электротехнике и машиностроительной промышленности, для создания электронагревателей, и резистивных элементов со стабильными электрическими параметрами. Данные элементы изготавливаются, как правило, из микропроволоки или тонкой ленты толщиной 5-20 мкм.

Размеры ленты согласно ГОСТ 15515-70:



- по толщине от 0,05 до 2 мм (с отклонением от -0,01 до -0,1 мм);
- по ширине от 10 до 300мм (с отклонением от +0,2 до +1 мм);
- по длине от 2,5 м (не допускается производство ленты меньшей длины).

Никелевая лента толщиной от 0,1 до 0,5 мм по согласованию с заводом-изготовителем изготавливаются длиной не менее 100 м (никелевая лента будет иметь сварные швы). Производство никелевой ленты марки НК0,07 повышенной точности освоено в 1995 году. Вес никелевой ленты колеблется от 0,442 до 17,7 кг на кв.м. Никелевая лента должна иметь чистую, гладкую поверхность. Допускаются незначительные местные риски, вмятины от транспортировки и цвета побежалости, возникающие при хранении (срок и условия хранения указаны в ГОСТ).

Никелевая полоса является отрезком заданной длины от никелевой ленты.

Никелевый пруток

Области применения никелевого прутка: в электровакуумном машиностроении, специальном машиностроении.

Никелевый пруток должен соответствовать требованиям ГОСТ 13083-77 «Прутки из никеля и кремнистого никеля». Прутки классифицируются по длине: немерной длины тянутые — от 1,5 до 4 м; катаные диаметром до 60 мм — от 1,0 до 3,0 м, диаметром св. 60 мм — от 0,7 до 1,4 м; мерной длины или кратной мерной — в пределах немерной длины с предельным отклонением + 15 мм. В случае особых требований потребителя никелевый пруток может быть отличной от стандартной длины.

Никелевый пруток изготавливают из марок: никель НП-2, НП-3, никель Н1, никель Н3 и из кремнистого никеля марки НК 0,2. Также используются сплавы никеля (пруток из сплава на никелевой основе). Производство никелевого сплава является более экономичным, нежели изготовление чистого никеля, поскольку цены на никель высоки.

Поверхность никелевого прутка должна быть гладкой, чистой, не содержать грязи, трещин. На поверхности могут быть небольшие дефекты, которые по размеру не больше, чем максимально допустимое отклонение по толщине. В изломе никелевый пруток должен быть цельным, не иметь пустот или включений. Края должны быть ровно обрезаны. В случае если диаметр менее 35 мм допускаются обрубленные края. Никелевый пруток должен быть прямыми. Допустимая кривизна высчитывается, как произведение кривизны в конкретном месте на общую длину прутка в метрах.

Никелевый порошок

Существуют электролитические и карбонильные никелевые порошки.

Их форма изготовления: никелевый порошок распыленный и порошки на основе никеля для напыления и наплавки.

Порошок никелевый электролитический производится из водных растворов солей никеля электролитическим методом с дальнейшей сушкой, термообработкой в восстановительной среде. Получение порошка никеля карбонильного происходит по так называемому карбонильному процессу с промежуточным получением карбонила и последующим его разложением. Порошок никеля распыленный получается путем распыления расплава металла газом и водой под высоким давлением. Производство металлических порошков ведется из первичных высокочистых материалов. Высокодисперсные металлические порошки или ультрадисперсные порошки производятся под заказ. Порошки на основе никеля находят применение в производстве магнитов, аккумуляторов, фильтрующих элементов, электроконтактов, специальных покрытий, красителей, катализаторов, сварочных электродов, композиционных клеев, ферритов, в порошковой металлургии в качестве составляющей тяжелых и твердых сплавов, при восстановлении узлов агрегатов подвергающихся износу. Наиболее распространенные марки никелевых порошков следующих марок: ПНЭ-1, ПНЭ-2, ПНК-УТ1, ПНК-УТ2, ПНК-УТ3. Также существует никельалюминиевый порошок. Порошковый никель расфасовывается в полиэтиленовые мешки по 50-60 кг (до 250 кг), вложенные в металлические бочки (барабаны). Также может предлагаться более мелкая фасовка.

Никель входит в состав большинства жаропрочных материалов, применяемых в аэрокосмической промышленности для деталей силовых установок. Приведём список основных сплавов с краткой характеристикой:

- нихром – сплав характеризующийся повышенной жаропрочностью, крипоустойчивостью⁷, пластичностью и стабильностью формы - он используется в высокотемпературных электропечах, печах обжига и сушки, различных электрических аппаратах теплового действия, а также в качестве жаропрочного и химически стойкого сплава в агрессивных средах;
- алюмель [от аллю(миний) и (ник)ель] - сплав, применяемый в пирометрии в качестве отрицательного термоэлектрода термопары хромель-алюмель, а также в виде компенсационных проводов. Химический состав алюмели (в %): 1,8—2,5 алюминия; 0,85—2,0 кремния; 1,8—2,2 марганца; остальное — никель и кобальт, причём кобальт присутствует как

⁷ Крипоустойчивость материала характеризуется его пределом ползучести, представляющим собой напряжение, соответствующее при данной температуре определенному удлинению материала в условленное время.

Наименование сплава		Алюмель	Хромель Т	Копель	Константан	Монель	
Марка		НМЦАК 2-2-1	НХ 9,5	МНМЦ 43-0,5	МНМЦ 40-1,5	НМЖМЦ 28-2,5-1,5	
Химический состав, %	Основной компонент	Алюминий	1,60 - 2,40	-	-	-	
		Кремний	0,85 - 1,50	-	0,1	-	
		Медь	-	-	-	-	27,0 - 29,0
		Марганец	1,80 - 2,70	-	0,05	1,00 - 2,00	1,20 - 1,81
		Хром	-	9,00 - 10,00	-	-	-
		Никель + кобальт	Остальное, в т. ч. кобальт 0,60 — 1,20	Остальное, в т. ч. кобальт 0,60 — 1,20	42,5 - 44,0	39,0 - 41,0	Остальное
	Примесь, не более	Железо	0,30	0,30	0,15	0,50	2,0 - 3,0
		Кремний	-	0,40	0,10	0,10	0,05
		Магний	0,05	0,05	0,10 - 1,0	0,05	0,10
		Марганец	-	0,30	0,50	-	-
		Медь	0,25	0,25	54,4 - 57,4	-	-
		Свинец	0,002	0,002	0,002	0,005	-
		Сера	0,01	0,01	0,01	0,02	-
		Углерод	0,10	0,20	0,10	0,10	-
		Фосфор	0,005	0,003	0,002	0,005	-
		Висмут	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
		Мышьяк	0,002	0,002	0,002	0,01	-
		Сурьма	0,002	0,002	0,002	0,002	-
		Цинк	-	-	-	-	-
Кадмий	-	-	-	-	-		
Олово	-	-	0,002	-	-		
Всего	0,70	1,40	0,6	0,6	0,60		
Вид изделия		Проволока	Проволока	Проволока	Проволока	Проволока	
Примерное назначение		Для термопар	Для термопар	Для термопар	-	-	

примесь в никеле, и для обеспечения требуемого значения термоэдс его содержание должно быть в пределах 0,6—1,0%. Термопарами с алюмелем пользуются для измерений температуры до 1000°C. Свыше 1000°C при длительных выдержках изменение термоэдс становится весьма заметным. Разработаны и применяются сплавы алюмели, легированные 0,06—0,1% циркония или 0,06% циркония + 0,005—0,03% бора и др. Легирование А. существенно увеличивает пластичность (при 600—1100°C) и длительную прочность (при 700—900°C), а также повышает стабильность термоэдс при температурах до 1250—1300°C.

- хромель – [от хром и (ник)ель], сплав никеля с хромом, обладающий благоприятным сочетанием термоэлектрических свойств и жаростойкости. Содержит около 10% Cr, около 1% Co, а также примеси (до 0,2% C и до 0,3% Fe). Хромель характеризуется достаточно большим и почти прямолинейным изменением термоэдс (ТЭДС) в широком интервале температур. ТЭДС термопары хромель — платина при температурах спаев 1000 и 0 °С — около 33 мВ. Хромель имеет постоянное значение ТЭДС при длительной работе на воздухе в интервале температур 20—1000 °С; при более высокой температуре эксплуатационная надёжность сплава снижается. Хромель изготавливается в виде проволоки и применяется в паре с алюмелем в качестве положительного термоэлектрода термопары хромель — алюмель, которая используется при измерении температуры. Хромель применяется также в качестве компенсационных проводов. В РФ выпускают Хромель марок НХ9,5 и НХ9.

- копель – медно-никелевый сплав, содержащий ~43% Ni и ~0,5% Mn. По химическому составу, физическим и механическим свойствам копель близка к константану, температура плавления К. около 1290°С. Из всех медно никелевых сплавов К. обладает максимальной термоэлектродвижущей силой в паре с хромелем (около 6,95 мВ при 100°С, 49,0 мВ при 600°С). Применяется главным образом в пирометрии в качестве отрицательного термоэлектрода термопар при измерении температур до 600°С, э. также в качестве компенсационных проводов. В РФ изготавливают копель марки МНМц 43-0,5.

- монель-металл – медно-никелевый жаростойкий⁸ (до 500 °С) сплав, очень коррозионно-устойчив, пластичен, обладает высоким пределом прочности; некоторые марки данного сплава могут противостоять огню в чистом кислороде; данный сплав используется в химической, нефтяной, судостроительной, медицинской промышленности, в аппарато- и приборостроении для защиты от коррозии. Изготавливают марки монель-металла такие, как: НМЖМц 28-2,5-1,5, НМ40 и др.

- константан (МНМц 40-1,5), коррозионно-устойчивый сплав с повышенной прочностью и упругостью после деформации, сохраняющий пластичность в горячем и холодном состоянии – используется при изготовлении термопар, реостатов и электроннагревательных элементов с рабочей температурой до 400—500 °С, измерительных приборов высокого класса точности;

⁸ Под жаростойкостью следует понимать химическое сопротивление металла окислению при высоких температурах. Её не следует путать с жаропрочностью (то есть способностью металла выдерживать механические нагрузки без существенных деформаций, не разрушаясь при длительном воздействии высоких температур) или температурой плавления.



- манганин, термостабильный сплав на основе меди с добавкой марганца, характеризуется чрезвычайно малым изменением электрического сопротивления в области комнатных температур — основной материал для электроизмерительных приборов и образцовых сопротивлений — эталонов магазинов, мостовых схем, шунтов, дополнительных сопротивлений приборов высокого класса точности; его преимущество перед константаном заключается в том, что манганин обладает очень малой термоЭДС⁹ в паре с медью (не более 1 мкВ/1°С), поэтому в приборах высокого класса точности применяют только манганин; в то же время манганин, в отличие от константана, неустойчив против коррозии в атмосфере, содержащей пары кислот, аммиака, а также чувствителен к значительному изменению влажности воздуха;
- нейзильбер, сплав с высокой коррозионной устойчивостью, повышенной прочностью и упругостью после деформации, пластичностью в горячем и холодном состоянии; в промышленности используется для изготовления столовых приборов (правда, в данном случае необходимо серебрение, чтобы избежать появления у пищи металлического привкуса), деталей точных приборов, медицинских инструментов, паровой и водяной арматуры;
- пермаллой, обладает высокой магнитной проницаемостью при очень малых потерях на гистерезис¹⁰ и почти нулевой магнитострикцией¹¹, благодаря чему он применяется в прецизионных магнито-механических устройствах и других устройствах, где требуется стабильность размеров в меняющемся магнитном поле - трансформаторных пластинок, элементов магнитных записывающих головок и пр.;
- инвар, сплав почти не удлиняющийся при нагревании в интервале температур от -100 до +100 °С, вследствие чего используется в точном приборостроении для изготовления мерных проволок в геодезии, эталонов длины, деталей часовых механизмов, деталей барографов и высотомеров и др.;

Кроме того, к сплавам никеля относятся никелевые и хромоникелевые стали, и различные сплавы сопротивления. Также никелевые сплавы используются при производстве железо-никелевых, никель-кадмиевых, никель-цинковых, никель-водородных аккумуляторов.

⁹ Электродвижущая сила, возникающая в электрической цепи, состоящей из нескольких разнородных проводников, имеющих в местах контактов различную температуру.

¹⁰ Гистерезис (от греч. ὑστέρησις — «отстающий») — свойство систем (обычно физических), которые не сразу следуют приложенным силам. Реакция этих систем зависит от сил, действовавших ранее, то есть системы зависят от собственной истории.

¹¹ Явление, заключающееся в том, что при изменении состояния намагниченности тела его объем и линейные размеры изменяются.