

МАТЕРИАЛЫ

Введение Н 2

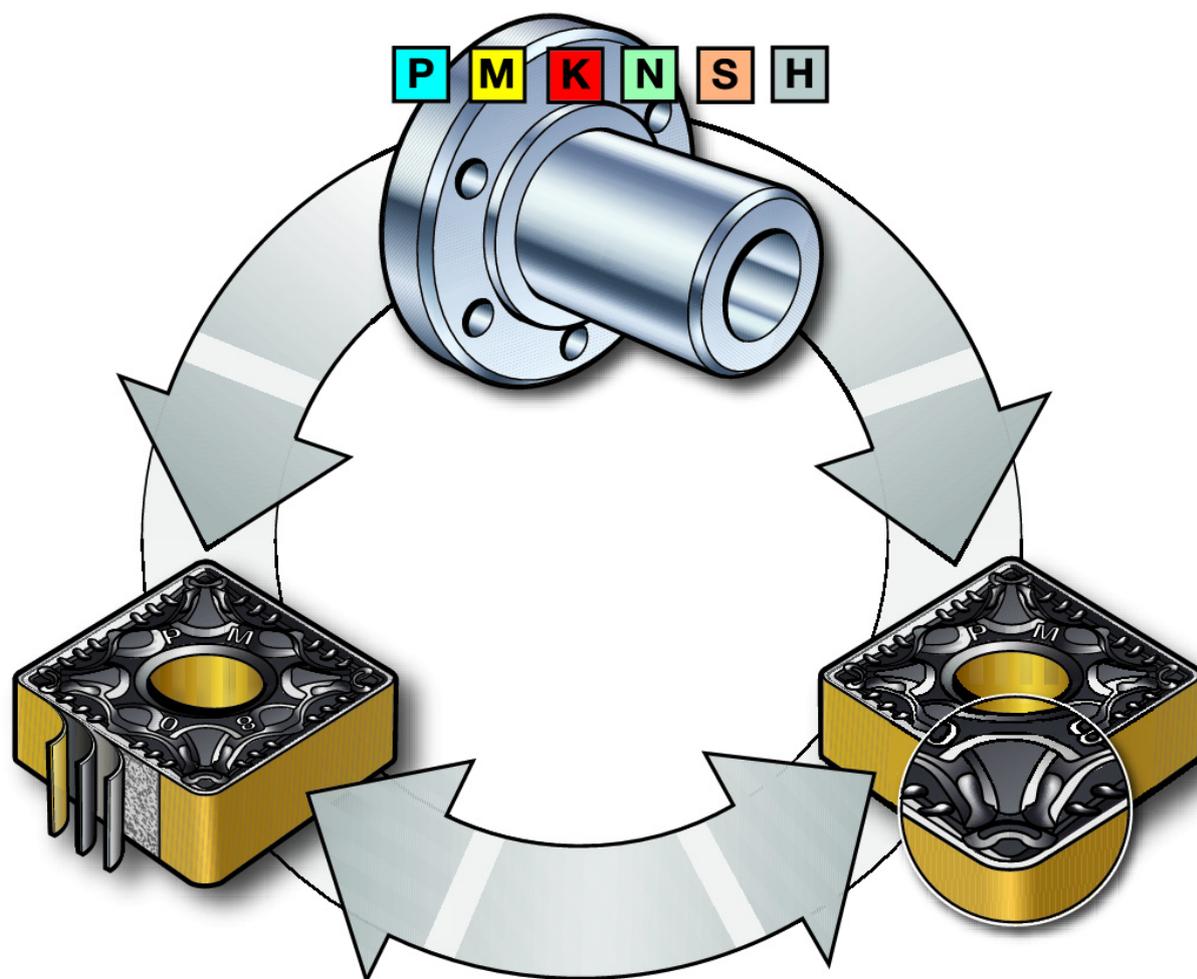
Инструментальные материалы

Введение и определения	Н 3
Твердый сплав с покрытием (НС)	Н 4
Кермет (НТ, НС)	Н 7
Керамика (СА, CN, СС)	Н 8
Поликристаллический кубический нитрид бора, CBN (BN)	Н 9
Поликристаллический алмаз, PCD (DP)	Н 9
Износ режущих кромок	Н 10
Сплавы Sandvik Coromant	Н 11



Обрабатываемые материалы

Классификация материалов	Н 16
ISO P = Сталь	Н 18
ISO M = Нержавеющая сталь	Н 22
ISO K = Чугун	Н 26
ISO N = Цветные металлы	Н 31
ISO S = Жаропрочные и титановые сплавы	Н 32
ISO H = Закалённая сталь	Н 35
Определение обрабатываемости материала	Н 36
Обрабатываемые материалы	Н 37



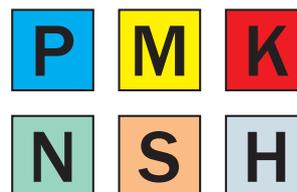
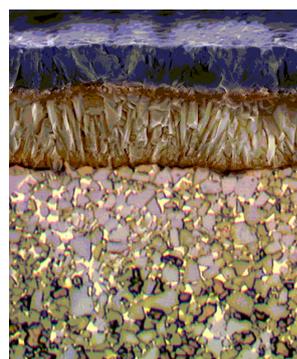
Введение

Для обеспечения надёжности и производительности обработки очень важно, чтобы материал режущего инструмента (марка сплава) и геометрия пластины соответствовали материалу заготовки. Другие параметры, такие как, например, режимы резания, траектория движения инструмента, также оказывают значительное влияние на результаты обработки.

В этой главе приведена основная информация о:

- материалах для режущих инструментов - твердых сплавах, керамике, CBN, PCD и пр.
- материалах и классификации заготовок с точки зрения обрабатываемости.

Более подробная информация об обработке различных материалов различными инструментами приведена в разделах “Основные положения” главы A “Точение”, главы B “Отрезка и обработка канавок”, главы D “Фрезерование” и главы E “Сверление”.

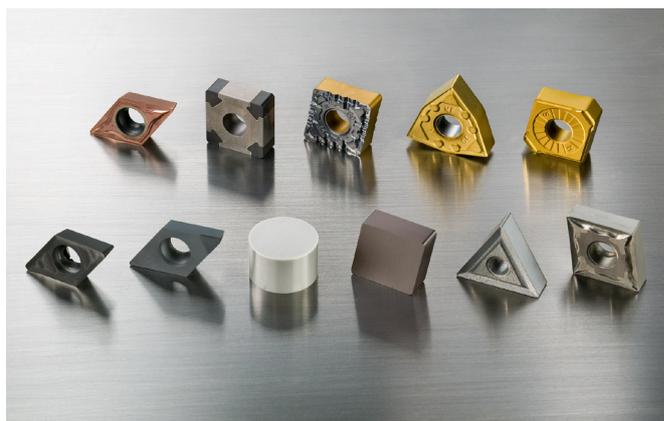


Инструментальные материалы

Выбор материала режущего инструмента - важный фактор при планировании успешной операции металлообработки.

Поэтому для правильного выбора в каждой области применения важны базовые знания о характеристиках каждого материала. При выборе последнего необходимо учитывать и материал обрабатываемой заготовки, её форму и требования по точности и качеству.

Цель этой главы - предоставить дополнительную информацию по каждому инструментальному материалу, его преимуществам, а также рекомендации по оптимальному использованию. Кроме того, приводится обзор всего ассортимента режущих материалов Sandvik Coromant для каждой области применения.



Буквенное обозначение инструментальных материалов:

Твёрдые сплавы:

NW Твёрдые сплавы без покрытия, содержащие в основном карбиды вольфрама (WC).

NT Безвольфрамовые твёрдые сплавы без покрытия (керметы), содержащие в основном карбиды (TiC) или нитриды (TiN) титана или и те, и другие вместе.

NC Вышеперечисленные твёрдые сплавы, но с покрытием.

Керамика:

CA Оксидная керамика, содержащая главным образом оксид алюминия (Al_2O_3).

CM Смешанная керамика, содержащая главным образом оксид алюминия (Al_2O_3), но также имеющая в составе помимо оксидов и другие компоненты.

CN Нитридная керамика, содержащая главным образом нитрид кремния (Si_3N_4).

CC Вышеперечисленные керамические материалы, но с покрытием.

Алмаз:

DP Поликристаллический алмаз ¹⁾

Нитрид бора:

BN Кубический нитрид бора ¹⁾

¹⁾ Поликристаллический алмаз и кубический нитрид бора называют также сверхтвёрдыми режущими материалами.

Материалы для режущих инструментов имеют различные сочетания твёрдости, прочности и износостойкости, и подразделяются по маркам сплавов, обладающих отличительными свойствами. Оптимальный материал режущего инструмента должен быть:

- твёрдым, устойчивым к износу по задней поверхности и деформации
- прочным, устойчивым к выкрашиваниям и поломке
- химически нейтральным по отношению к материалу заготовки
- химически стойким, устойчивым к окислению и диффузии
- устойчивым к резким изменениям температуры

Подробную информацию о различных типах износа см. в главе I “Информация/Указатель”.

Твёрдый сплав с покрытием (НС)

Твёрдый сплав с покрытием в настоящее время занимает 80-90% рынка пластин для режущих инструментов. Своим успехом он обязан уникальному сочетанию износостойкости и прочности, а также способности принимать сложные формы.

Твёрдый сплав с покрытием состоит из твердосплавной основы и покрытия. Вместе они представляют сплав, оптимизированный для конкретной области применения.



Пластины из твердого сплава с покрытием оптимально подходят для широкого спектра инструментов и областей применения.

CVD покрытие

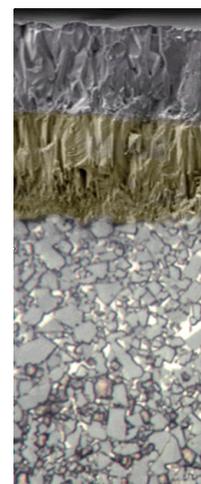
Определение и свойства

Аббревиатура CVD означает Chemical Vapor Deposition (Химическое осаждение из паровой фазы). Покрытие CVD образуется в результате химических реакций при температуре 700-1050°C.

Покрытия CVD обладают высокой износостойкостью и превосходной адгезией к твердосплавной основе.

Первый твердый сплав с покрытием CVD имел однослойное покрытие из карбида титана (TiC). Позже появились покрытия из оксида алюминия (Al_2O_3) и нитрида титана (TiN). Еще позже были разработаны современные покрытия из карбонитрида титана (MT-Ti(C,N) и MT-TiCN, называемые также MT-CVD) для улучшения свойств сплава за счет способности сохранять целостность граничного слоя твердого сплава.

В современных покрытиях CVD комбинируются слои MT-Ti(C,N), Al_2O_3 и TiN. Непрерывно улучшаются свойства покрытий в отношении адгезии, прочности и износа за счет микроструктурной оптимизации и последующей обработки.



MT-Ti(C,N) - обеспечивает стойкость к абразивному износу и, соответственно, уменьшает износ по задней поверхности.

CVD- Al_2O_3 – химически нейтральный слой, имеющий низкую теплопроводность, что обеспечивает стойкость сплава к лункообразованию. Кроме того, он служит в качестве теплового барьера, улучшая стойкость к пластической деформации.

CVD-TiN - повышает износостойкость и используется для выявления износа.

Окончательная обработка пластины - обеспечивает увеличенную прочность кромок при прерывистом резании и снижает образование нароста.

Области применения

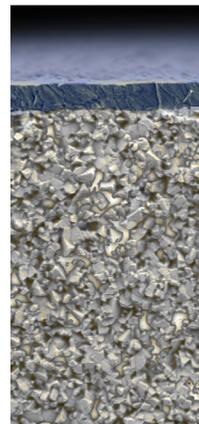
Сплавы с покрытием CVD - идеальный выбор для широкого спектра областей применения, где важна износостойкость. Например, токарная обработка и растачивание отверстий в деталях из стали, где толстое CVD покрытие обеспечивает стойкость к лункообразованию; токарная обработка нержавеющей стали. Во фрезеровании CVD сплавы рекомендуется использовать при обработке материалов групп ISO P, ISO M, ISO K. При сверлении сплавы CVD обычно используются в периферийной пластине.

PVD покрытие

Определение и свойства

Аббревиатура PVD означает Physical Vapor Deposition (Конденсация из паровой фазы). Оно формируется при относительно невысоких температурах (400-600°C). Процесс включает в себя испарение металла, реагирующего, например, с азотом. В результате на поверхности режущего инструмента образуется твёрдое нитридное покрытие.

Покрyтия PVD увеличивают износостойкость сплава за счет своей твёрдости. Их компрессионное воздействие также увеличивает прочность кромок и стойкость к образованию трещин.



Точение

B

Отрезка и обработка канавок

C

Резьбонарезание

D

Фрезерование

E

Сверление

F

Рассточивание

G

Инструментальная оснастка

H

Материалы

I

Информация/Указатель

Ниже описаны основные слои покрытия PVD. Современные покрытия представляют собой комбинации этих соев. В слоистых покрытиях имеется множество тонких слоев - толщины миллимикронного порядка. Это делает покрытие еще твёрже.

PVD-TiN - нитрид титана, из которого состояло первое PVD покрытие. Он обладает универсальными свойствами и имеет золотистый цвет.

PVD-Ti(C,N) - карбонитрид титана твёрже нитрида и увеличивает стойкость к износу по задней поверхности.

PVD-(Ti,Al)N - нитрид титана алюминия имеет высокую твёрдость в сочетании со стойкостью к окислению, что улучшает общую износостойкость.

PVD-оксид - используется из-за своей химической инертности и повышенной стойкости к лункообразованию.

Области применения

Сплавы с покрытием PVD рекомендуются для получения прочных, но острых режущих кромок, а также для обработки материалов, подверженных образованию нароста. Сплавы имеют широкую область применения: все цельные концевые фрезы и свёрла, а также большинство пластин для обработки канавок, резьбы и фрезерования. Сплавы с покрытием PVD также широко используются в чистовой обработке и в качестве материала центральной пластины сверл.

Твёрдые сплавы

Определение и свойства

Твердый сплав - продукт порошковой металлургии, состоящий из частиц карбида вольфрама (WC) и кобальтовой связки (Co). В твердых сплавах количество карбидов вольфрама (WC) достигает 80%. Также в состав твердого сплава входят карбиды других элементов, играющих особую роль при формировании градиентной основы.

Определенная форма твердому сплаву традиционно придается путем прессования порошка, либо методом экструзии. Затем полученная заготовка пластины или инструмента спекается до максимальной плотности.

Размер зерна WC является одним из важнейших параметров для корректировки соотношения “твёрдость-прочность”; чем меньше размер зерна, тем выше твёрдость при заданном содержании связующего вещества.

Количество и состав связки управляет прочностью сплава и его стойкостью к пластической деформации. При одинаковом размере зерна WC увеличение количества связки приведет к повышению прочности, что обуславливает предрасположенность к износу в виде пластической деформации. Слишком низкое содержание кобальта может привести к повышению хрупкости материала.

Кубические карбонитриды, иначе называемые γ -фазой, обычно добавляются для повышения красностойкости и формирования градиента.

Градиентное спекание способствует повышенной стойкости к пластической деформации и прочности кромки одновременно. Кубические карбонитриды, сконцентрированные в непосредственной близости к режущей кромке, повышают красностойкость там, где это необходимо. Кроме прочего, сочетание кобальтовой связки и карбидов вольфрама обеспечивает стойкость к образованию трещин и выкрашиваний.

Области применения

Зёрна WC среднего и крупного размера

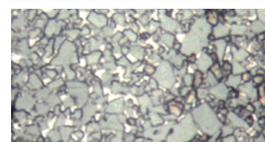
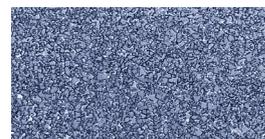
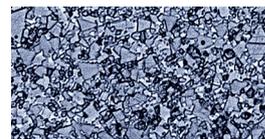
Зёрна WC средних и крупных размеров обеспечивают твердому сплаву превосходное сочетание прочности и высокой красностойкости. Сплавы с таким размером зёрен могут использоваться в комбинации с CVD или PVD покрытиями для любых областей применения.

Зёрна WC мелкого и субмикронного размера

Твёрдые сплавы с размером зерна WC от мелкого до субмикронного используются при необходимости получения острой режущей кромки. Повышение прочности режущей кромки достигается за счет использования PVD покрытия. Данные сплавы обладают превосходной стойкостью к циклическим тепловым и механическим нагрузкам. Типичные области применения - цельные твёрдосплавные свёрла, цельные твёрдосплавные концевые фрезы, пластины для отрезки и обработки канавок, фрезерования и различных чистовых операций.

Твердый сплав с градиентной основой

Преимущества градиентного спекания основы сплава в сочетании с CVD покрытием успешно применяются во многих сплавах для точения, отрезки и обработки канавок при обработке конструкционной и нержавеющей стали.



Твёрдый сплав без покрытия (HW)

Определение и свойства

Твердые сплавы без покрытия составляют весьма незначительную часть от всего ассортимента инструментальных материалов. Эти сплавы являются либо “безпримесными”, состоящими только из карбидов вольфрама и кобальтовой связки (WC/Co), либо имеют очень большую долю кубических карбонитридов.



Области применения

Типичные области применения - обработка жаропрочных сплавов и сплавов на основе титана, а также токарная обработка закалённых материалов на невысокой скорости.

Период стойкости пластин из сплавов без покрытия очень низкий. Но быстрый износ пластины может быть компенсирован за счет эффекта самозатачивания кромки.

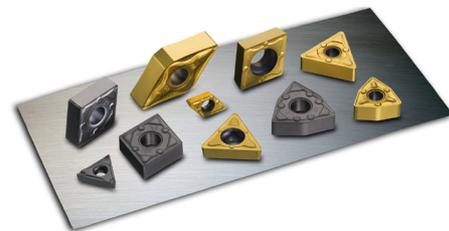
Кермет (СТ)

Определение и свойства

Кермет - это твердый сплав, основу которого составляют твёрдые частицы карбида титана. Кермет, как показывает его название, представляет собой комбинацию керамики и металла. Первоначально керметы состояли из карбидов титана (TiC) и никелевой связки. А современные керметы уже не содержат никеля, а состоят из частиц карбонитрида титана Ti(C,N), второй твёрдой фазы (Ti,Nb,W)(C,N) и обогащённой вольфрамом кобальтовой связки.

Ti(C,N) обеспечивает износостойкость сплава, вторая твёрдая фаза повышает стойкость к пластической деформации, а содержащийся в нем кобальт контролирует прочность.

По сравнению с твёрдым сплавом у керметов выше износостойкость и ниже тенденция к наростообразованию. С другой стороны, керметы хуже работают на сжатие и обладают пониженной стойкостью к термическому удару. Для повышения износостойкости на керметы можно наносить покрытия, используя PVD метод.



Точение

B

Отрезка и обработка канавок

C

Резьбонарезание

D

Фрезерование

E

Сверление

F

Рассточивание

G

Инструментальная оснастка

H

Материалы

I

Информация/Указатель

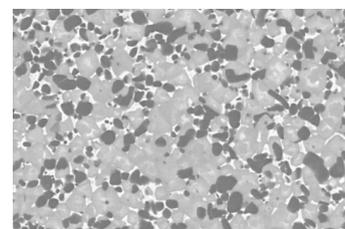
Области применения

Керметы рекомендуется использовать в случае возникновения проблем с образованием нароста на режущей кромке. При их использовании усилия резания, за счёт эффекта самозатачивания, сохраняются на низком уровне даже после длительного резания. При чистовой обработке это позволяет продлить срок службы инструмента и добиться жестких допусков и блестящей поверхности.

Типичные области применения - чистовая обработка нержавеющей сталей, чугуна с шаровидным графитом, низкоуглеродистых и ферритных сталей. Керметы можно также рассматривать в качестве оптимизированного решения для всех черных металлов.

Рекомендации:

- используйте небольшую подачу и глубину резания.
- меняйте кромку пластины, когда износ по задней поверхности достигнет 0,3 мм.
- избегайте возникновения термических трещин и выкрашиваний путем обработки без СОЖ.



GC1525 Прочный кермет с покрытием для точения в условиях прерывистого резания.

СТ5015 Износостойкий кермет для точения в условиях непрерывного резания.

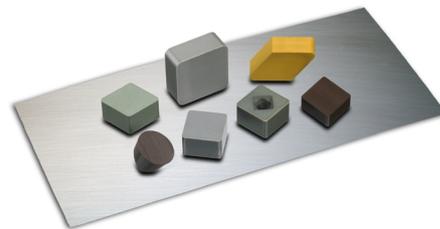
СТ530 Фрезерный сплав, обеспечивающий блестящую поверхность.

СТ525 Сплав для чистовой отрезки и обработки канавок.

Керамика (CA, CM, CN, CC)

Определение и свойства

Все режущие инструменты из керамики отличаются высокой износостойкостью при одновременной возможности работы с высокой скоростью резания. Существует несколько видов керамики, предназначенных для различных областей применения.



Основу оксидной керамики составляет оксид алюминия (Al_2O_3), с добавлением оксида циркония (ZrO_2), предотвращающего образование трещин. В результате соединения этих элементов образуется материал с повышенной химической стойкостью, но имеющий недостаточную термостойкость.

(1) Смешанная керамика усилена такими соединениями как карбиды или карбонитриды титана (TiC, Ti(C,N)). Данная керамика обладает повышенной прочностью и теплопроводностью.

(2) Керамика, армированная нитевидными кристаллами карбида кремния (SiC_w), обладает повышенной прочностью и при её использовании допускается применение СОЖ. Такая керамика идеально подходит для обработки сплавов на основе никеля.

(3) Керамика на основе нитрида кремния (Si_3N_4) представляет собой еще одну группу керамических материалов. Её удлиненные кристаллы образуют самоармирующийся материал высокой прочности. Пластины из керамики с нитридами кремния успешно применяются для обработки серого чугуна, однако недостаточная химическая стойкость ограничивает их применение для обработки других материалов.

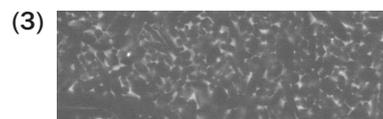
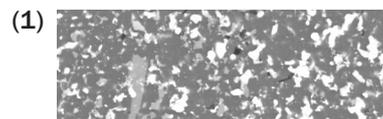
Керамика сиалон (SiAlON) сочетают в себе прочность самоармирующейся структуры из нитрида кремния и улучшенную химическую стойкость. Сиалоновые сплавы идеально подходят для обработки жаропрочных сплавов.

Области применения

Керамические сплавы можно применять для широкого спектра операций и материалов. Чаще всего пластины из керамики используются для высокоскоростного точения, а также для обработки канавок и фрезерования.

Специфические свойства каждого керамического сплава при правильном применении обеспечивают высокую производительность. Для достижения успеха важно знать, когда и как использовать пластины из керамики.

Основные ограничения по применению керамики связаны с недостаточной стойкостью к термическому шоку и выкрашиваниям.



CC620	Оксидная керамика обеспечивает высокую скорость обработки серого чугуна в стабильных условиях без применения СОЖ.
CC6050	Смешанная керамика рекомендуется для легкой, непрерывной обработки закалённых материалов.
CC650	Смешанная керамика для высокоскоростной обработки серого чугуна и закалённых материалов и для полустойкой обработки жаропрочных сплавов с невысокими требованиями к прочности.
CC670	Армированная керамика с высокой прочностью для точения, обработки канавок и фрезерования заготовок из сплавов на основе никеля. Ее можно также использовать для точения материалов высокой твердости в неблагоприятных условиях.
CC6190 CC6090	Керамика на основе нитрида кремния для точения, от черного до чистового, и высокоскоростного фрезерования без СОЖ разных видов чугуна.
GC1690	Керамика на основе нитрида кремния с покрытием для точения чугуна на полустойкой и чистовой стадиях.
CC6060	Сиалоновая керамика, обеспечивающая оптимальную производительность при точении предварительно обработанных жаропрочных сплавов в стабильных условиях. Предсказуемый износ благодаря хорошей стойкости к образованию проточин.
CC6065	Усиленная сиалоновая керамика предназначенная для токарной обработки жаропрочных сплавов, на операциях, требующих повышенной прочности пластины.

Поликристаллический кубический нитрид бора, CBN (BN)

Определение и свойства

Поликристаллический кубический нитрид бора (CBN) обладает исключительной твёрдостью в горячем состоянии, что позволяет использовать его при очень высоких скоростях резания. Он также характеризуется хорошей прочностью и термостойкостью.

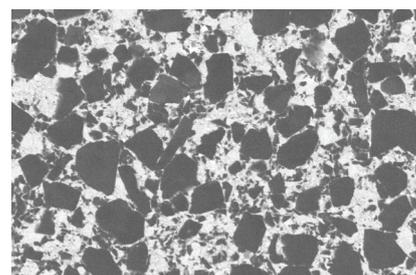
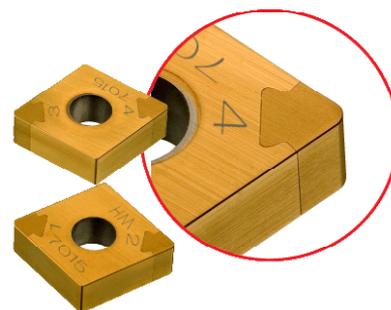
Современные материалы CBN представляют собой керамические композиты с содержанием CBN порядка 40-65%. Керамическая связка добавляет кубическому нитриду бора износостойкости, без чего этот материал был бы подвержен химическому износу. Существует группа сверхтвёрдых материалов с высоким содержанием CBN, от 85% до почти 100%. В них может применяться металлическая связка, что повышает их прочность.

Для формирования пластины CBN напаивается на заготовку из твёрдого сплава. Закрепление кубического нитрида с использованием технологии Safe-Lock™ обеспечивает высокую прочность режущих кромок на пластинах без задних углов.

Области применения

Кубический нитрид бора широко используется для чистовой токарной обработки закалённой стали, имеющей твёрдость более 45 HRC. При твёрдости обрабатываемого материала более 55 HRC пластины из CBN становятся единственно возможным решением, способным заменить традиционно используемые методы шлифования. В более мягкой стали (твёрдостью ниже 45 HRC) содержится больше феррита, негативно влияющего на износостойкость CBN.

CBN можно также использовать для высокоскоростной черновой обработки серого чугуна как на токарных, так и на фрезерных операциях.

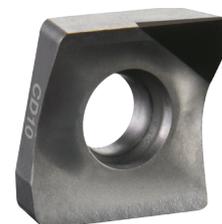


CB7015	Пластина с вставками из CBN с покрытием PVD с керамической связкой для непрерывного точения и легкой прерывистой обработки закалённой стали.
CB7025	Пластина с вставками из CBN с керамической связкой для обработки в условиях прерывистого резания и для точения закалённых материалов при высоких требованиях к прочности режущей кромки.
CB7050	Пластина с повышенным содержанием CBN с PVD покрытием и на металлической связке. Рекомендуется для тяжёлой прерывистой обработки закалённой стали и чистовой обработки серого чугуна.

Поликристаллический алмаз, PCD (DP)

Определение и свойства

Поликристаллический алмаз является композитным материалом, состоящим из частиц алмаза, объединенных металлической связкой. Алмаз является самым твёрдым и, следовательно, самым стойким к износу материалом. Как режущий инструмент, он имеет хорошую износостойкость, но ему не хватает химической стойкости при высоких температурах и он легко растворяется в железе.



Области применения

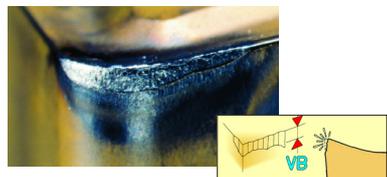
Инструмент со вставками из поликристаллического алмаза применяют для обработки цветных металлов, например, алюминия с высоким содержанием кремния, а также таких материалов как металло-матричные композитные материалы (ММС) и пластмассы, армированные углеродным волокном (CFRP). Использование PCD также возможно для суперфинишной обработки титана при условии подвода СОЖ.

CD10	Пластина со вставками из PCD для чистовой и получистовой обработки цветных металлов и неметаллических материалов точением и фрезерованием.
------	--

Износ режущих кромок

Чтобы понять преимущества и недостатки каждого инструментального материала, важно иметь представление о различных механизмах износа, которым подвержены изготовленные из них режущие инструменты.

Абразивный



Износ по задней поверхности

Самый распространенный и самый предпочтительный тип износа, так как срок службы инструмента при таком износе обычно предсказуемый и стабильный. Износ по задней поверхности происходит из-за истирания, вызываемого твердыми компонентами материала заготовки.

Химический



Лункообразование

Лункообразование локализуется на передней поверхности пластины. Оно возникает из-за химической реакции между материалом заготовки и режущим инструментом и усиливается с ростом скорости резания. Чрезмерное лункообразование ослабляет режущую кромку и может привести к поломке.

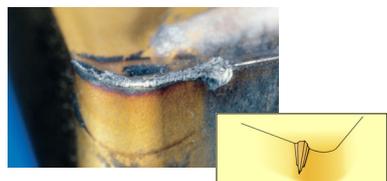
Адгезионный



Наростообразование

Этот тип износа возникает из-за приваривания стружки в пластичном состоянии к пластине. Наиболее распространён при обработке вязких материалов, таких как низкоуглеродистая сталь, нержавеющая сталь и алюминий. Наростообразование повышается с уменьшением скорости резания.

Адгезионный



Образование проточин

Износ пластин характеризуется избыточными локализованными повреждениями как на передней, так и на задней поверхностях пластины на уровне глубины резания. Возникает из-за адгезии (наваривание расплавленной стружки) и деформации закалённой поверхности. Распространённый тип износа при обработке нержавеющей стали и жаропрочных сплавов.

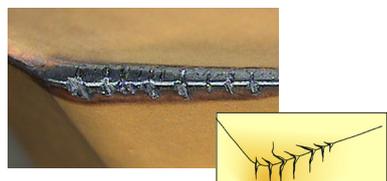
Термический



Пластическая деформация

Пластическая деформация имеет место при размягчении материала инструмента. Это происходит тогда, когда температура резания оказывается слишком высокой для определенного сплава. Как правило, стойкость к пластической деформации повышается при использовании более твердых сплавов и более толстых покрытий.

Термический



Термотрещины

Когда температура режущей кромки быстро изменяется с высокой на низкую, то перпендикулярно режущей кромке могут возникать трещины. Термотрещины нередко появляются при прерывистом резании, часто возникают при фрезеровании и усугубляются при использовании СОЖ.

Механический



Сколы на режущих кромках

Сколы на режущих кромках это результат механических перегрузок на растяжение. Перегрузки на растяжение могут возникать по ряду причин, таких как слишком большая глубина резания или слишком высокая подача, твердые включения в материале заготовки, наростообразование, вибрации, чрезмерный износ пластины.

Сплавы Sandvik Coromant

В приведенных ниже таблицах дан обзор ассортимента сплавов Sandvik Coromant. В них представлена информация об областях применения и свойствах инструментальных материалов, упрощающая выбор необходимого сплава. Жирным шрифтом выделены области применения для сплавов первого выбора, обычным шрифтом - для сплавов универсального применения.



Буквенное обозначение инструментальных материалов:

Твёрдые сплавы:

- HW** Твёрдые сплавы без покрытия, содержащие в основном карбиды вольфрама (WC).
- HT** Безвольфрамовые твёрдые сплавы без покрытия (керметы), содержащие в основном карбиды (TiC) или нитриды (TiN) титана или и те, и другие вместе.
- HC** Вышеперечисленные твёрдые сплавы, но с покрытием.

Керамика:

- CA** Оксидная керамика, содержащая главным образом оксид алюминия (Al_2O_3).
- CM** Смешанная керамика, содержащая главным образом оксид алюминия (Al_2O_3), а также и другие компоненты.
- CN** Нитридная керамика, содержащая главным образом нитрид кремния (Si_3N_4).
- CC** Вышеперечисленные керамические материалы, но с покрытием.

Алмаз:

- DP** Поликристаллический алмаз.¹⁾

Нитрид бора:

- VN** Кубический нитрид бора.¹⁾
- ¹⁾ Поликристаллический алмаз и кубический нитрид бора называют также сверхтвёрдыми режущими материалами.

Обозначения:

Области применения по ISO

- P** ISO P = Сталь
- M** ISO M = Нержавеющая сталь
- K** ISO K = Чугун
- N** ISO N = Цветные металлы
- S** ISO S = Жаропрочные сплавы
- H** ISO H = Материалы высокой твёрдости

Твёрдые сплавы

- Субмикронные зёрна карбида вольфрама (WC) (очень мелкие)
- Мелкие зёрна карбида вольфрама (WC)
- Зёрна размером от среднего до крупного
- Сплав с градиентной основой

Толщина покрытия

- Малая
- Средняя
- Большая

Сплавы для точения

Марка сплава	Область применения по ISO						Режущий материал	Структура твёрдого сплава	Состав покрытия		Толщина покрытия	Цвет
	P	M	K	N	S	H						
GC1005		M15		N10	S15		HC	▲	PVD	(Ti,Al)N+TiN	—	
GC1025	P25	M15			S15		HC	▲	PVD	(Ti,Al)N+TiN	—	
GC1105		M15			S15		HC	▲	PVD	(Ti,Al)N	—	
GC1115		M15		N15	S20		HC	●●●	PVD	Оксид	—	
GC1125	P25	M25		N25	S25		HC	●●●	PVD	Оксид	—	
GC1515	P25	M20	K25				HC	●●●	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC2015	P25	M15					HC	■	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC2025	P35	M25					HC	▲	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC2035		M35					HC	▲	PVD	(Ti,Al)N+TiN	—	
GC235	P45	M40					HC	▲	CVD	Ti(C,N)+TiN	—	
GC3005	P10		K10				HC	▲	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC3205			K05				HC	▲	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC3210			K05				HC	▲	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC3215			K05				HC	▲	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC4205	P05		K10			H15	HC	■	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC4215	P15		K15			H15	HC	■	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC4225	P25	M15					HC	■	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC4235	P35	M25					HC	■	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
S05F					S05		HC	▲	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
H10				N15			HW	▲				
H10A					S10		HW	▲				
H10F					S15		HW	▲				
H13A			K20	N15	S15	H20	HW	▲				
GC1525	P15	M10					CT		PVD	Ti(C,N)	—	
CT5015	P10		K05				HT					
CC620			K01				CA					
CC650			K01		S05	H05	CM					
CC6050			K01			H05	CM		PVD	TiN	—	
CC670					S15	H10	CM					
CC6090			K10				CN					
CC6190			K10				CN					
CC6060					S10		CN					
CC6065					S15		CN					
GC1690			K10				CC		CVD	Al ₂ O ₃ +TiN	—	
CB7015						H15	BN		PVD	TiN	—	
CB7025						H20	BN					
CB7050/CB50			K05			H05	BN		PVD	TiN	—	
CB20						H01	BN					
CD10				N05			DP					
GC1810				N10			HC	▲	CVD	Алмаз	—	

Сплавы для отрезки, обработки канавок и нарезания резьбы

Марка сплава	Область применения по ISO						Режущий материал	Структура твёрдого сплава	Состав покрытия	Толщина покрытия	Цвет
	P	M	K	N	S	H					
Отрезка и обработка канавок (пластины CoroCut):											
GC1005		M10		N10	S15		HC	▲	PVD (Ti,Al)N+TiN	—	
GC1025	P25	M25	K30	N25	S25		HC	▲	PVD (Ti,Al)N+TiN	—	
GC1105		M15			S15		HC	▲	PVD (Ti,Al)N	—	
GC1125	P30	M25	K30	N25	S25		HC	⬢	PVD (Ti,Al)N	—	
GC1145	P45	M40			S40		HC	▲	PVD Оксид	—	
GC2135	P35	M30			S30		HC	▲	CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC2145	P45	M40			S40		HC	▲	PVD (Ti,Al)N	—	
GC235	P45	M35			S30		HC	▲	CVD Ti(C,N)+TiN	—	
GC3020	P15		K15				HC	▲	CVD MT-Ti(C,N)-Al ₂ O ₃	—	
GC3115	P15		K15				HC	▲	CVD MT-Ti(C,N)-Al ₂ O ₃	—	
GC4125	P30	M25	K30		S25		HC	▲	PVD (Ti,Al)N	—	
GC4225	P20		K25				HC	■	CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
S05F					S10		HC	▲	CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
CT525	P10	M10					HT				
H13A		M15	K20	N20	S15		HW	▲			
H10				N10	S30		HW	▲			
CB7015						H15	BN		PVD TiN	—	
CB20						H01	BN				
CC670					S10	H10	CM				
CD10				N01			DP				
CD1810				N10			HC	▲	CVD Алмаз	—	
Нарезание резьбы:											
GC1020	P20	M20	K15	N25	S20	H20	HC	▲	PVD TiN	—	
GC1125	P20	M20	K15		S20	H20	HC	⬢	PVD (Ti,Al)N	—	
GC4125	P20	M20	K15		S20	H20	HC	▲	PVD (Ti,Al)N	—	
H13A		M25	K20	N25	S25		HW	▲			
CB20						H10	BN				

Точение

B

Отрезка и обработка канавок

C

Резьбонарезание

D

Фрезерование

E

Сверление

F

Расширение

G

Инструментальная оснастка

H

Материалы

I

Информация/Указатель

Сплавы для фрезерования

Марка сплава	Область применения по ISO						Режущий материал	Структура твёрдого сплава	Состав покрытия	Толщина покрытия	Цвет
	P	M	K	N	S	H					
Сменные пластины											
GC1010	P10		K10			H10	HC		PVD (Ti,Al)N	—	
GC1020			K20				HC		PVD (Ti,Al)N	—	
GC1025	P10	M15		N15	S15	H15	HC		PVD Ti(C,N)+TiN	—	
GC1030	P30	M15		N15	S15	H10	HC		PVD (Ti,Al)N+TiN	—	
GC2030	P25	M25			S25		HC		PVD (Ti,Al)N+TiN	—	
GC2040	P40	M30			S30		HC		CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC3040	P20		K30			H25	HC		CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃	—	
GC3220			K20				HC		CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC4220	P15		K25			H25	HC		CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC4230	P25	M15	K30				HC		CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC4240	P40	M40	K35				HC		CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
K15W			K15				HC		CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
K20D			K20				HC		CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃	—	
K20W			K25				HC		CVD MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
H13A			K25	N15	S20		HW				
H10				N10			HW				
H10F				N20	S30		HW				
CT530	P20	M20		N15		H15	HT				
CB50			K05			H05	BN				
CC6190			K10				CN				
CD10				N05			DP				
Цельные концевые фрезы											
GC1610						H	HC		PVD (Ti,Al)N	—	
GC1620	P	M	K		S	H	HC		PVD (Ti,Al)N	—	
GC1630	P	M	K		S		HC		PVD (Ti,Al)N	—	
GC1640	P	M	K		S		HC		PVD (Ti,Al)N	—	
H10F				N			HW				

Сплавы для сверления

Марка сплава	Область применения по ISO						Режущий материал	Структура твёрдого сплава	Состав покрытия	Толщина покрытия	Цвет	
	P	M	K	N	S	H						
Цельные твёрдосплавные свёрла/свёрла с напаянными твёрдосплавными пластинами												
GC1020	P20		K20	N20	S20	H20	HC	▲	PVD	Ti(C,N)+TiN	—	
GC1210	P10		K10				HC	▲	PVD	AlCrN	—	
GC1220	P20	M20	K20	N20	S30	H20	HC	▲	PVD	(Ti,Al)N	—	
K20		M30	K20	N15		K15	HC	▲	PVD	TiN	—	
N20D				N20			HC	▲	PVD	(Ti,Al)N	—	
P20	P20						HC	▲	PVD	TiN	—	
H10F	P25		K25	N20	S25		HW	▲				
Свёрла со сменными твёрдосплавными пластинами												
GC1020	P40	M35	K20	N20	S35	H20	HC	▲	PVD	TiN	—	
GC1044	P40	M35	K25	N20	S35	H20	HC	▲	PVD	(Ti,Al)N	—	
GC1120	P40	M35	K20	N20	S35	H20	HC	▲	PVD	Ti(C,N)	—	
GC235	P40	M35					HC	▲	CVD	Ti(C,N)+TiN	—	
GC1144		M35			S35		HC	▲	PVD	Оксид	—	
GC2044		M35			S35		HC	▲	PVD	Оксид	—	
GC3040	P20	M20	K20			H15	HC	▲	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃	—	
GC4014	P15		K15				HC	■	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃	—	
GC4024	P25	M20	K20			H15	HC	▲	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃	—	
GC4034	P30	M30	K20				HC	▲	CVD	MT-Ti(C,N)+Al ₂ O ₃ +TiN	—	
GC4044	P40	M35	K20	N20	S35	H20	HC	▲	PVD	(Ti,Al)N	—	
H13A		M20	K20	N20	S20		HW	▲				

Точение

B

Отрезка и обработка канавок

C

Резьбонарезание

D

Фрезерование

E

Сверление

F

Расгачивание

G

Инструментальная оснастка

H

Материалы

I

Информация/Указатель

Обрабатываемые материалы

P  Сталь	M  Нержавеющая сталь	K  Чугун	N  Алюминий	S  Жаропрочные сплавы	H  Закалённая сталь
--	--	--	---	---	---

Группы обрабатываемых материалов

В металлорежущей промышленности обрабатывается огромное множество деталей из самых различных материалов. Каждый материал имеет свои уникальные характеристики, которые зависят от состава легирующих элементов, термообработки, твёрдости и пр. Все обрабатываемые материалы группируются определенным образом, и в соответствии с принадлежностью к той или иной группе осуществляется выбор геометрии режущего инструмента, марки сплава и режимов резания.

Обрабатываемые материалы подразделяют, в соответствии со стандартом ISO, на шесть основных групп. Материалы каждой группы характеризуются уникальными свойствами в отношении обрабатываемости резанием.

- **ISO P** – Сталь. Самая большая по составу группа материалов, включающая различные сорта стали - от нелегированных до высоколегированных, включая стальные отливки, ферритную и мартенситную нержавеющую сталь. Как правило, материалы данной группы имеют хорошую обрабатываемость, но это зависит от твёрдости стали и процентного содержания в ней углерода.
- **ISO M** – Нержавеющая сталь. Сплавы с содержанием хрома не менее 12%; некоторые сплавы могут содержать никель и молибден. Различают различные виды нержавеющей стали. Например, ферритная, мартенситная, аустенитная и аустенитно-ферритная (дуплексная) сталь. Характерной особенностью для обработки всех этих сталей является интенсивный термический износ режущих кромок, износ в виде образования проточин и наростообразования.

- **ISO K** – Чугун. В отличие от стали, дает короткую, сыпучую стружку. Серые чугуны (GCI) и ковкие чугуны (MCI) обрабатываются довольно легко, а чугун с шаровидным (NCI) и вермикулярным (CGI) графитом и отпущенный ковкий чугун (ADI) поддаются обработке сложнее. В состав любого чугуна входит карбид кремния (SiC), что определяет абразивный характер износа режущей кромки.
- **ISO N** – Цветные металлы. Алюминий, медь, латунь и другие цветные металлы гораздо мягче черных. Алюминий с 13% содержанием кремния является очень абразивным материалом. В общем цветные металлы обрабатывают инструментом с острыми режущими кромками с высокой скоростью резания и продолжительным периодом стойкости.
- **ISO S** – Жаропрочные сплавы. К данной группе относится большое число высоколегированных материалов на основе железа, никеля, кобальта и титана. Все они достаточно вязкие, поэтому их обработка сопровождается наростообразованием на инструменте и выделением большого количества тепла, к тому же для них характерно упрочнение в процессе резания. По свойствам данные сплавы схожи со сталями группы ISO M, но они гораздо труднее поддаются резанию, что объясняет небольшой срок службы режущих пластин.
- **ISO H** – Материалы высокой твердости. В эту группу входят стали твёрдостью 45-65 HRC, а также отбелённый чугун твёрдостью 400-600 HB. Высокое значение твёрдости делает их трудно поддающимися обработке. Эти материалы в процессе резания выделяют много тепла и очень абразивны по отношению к режущей кромке.

Новая классификация материалов – Коды MC

Подразделение материалов на 6 групп не дает достаточной информации для выбора нужной геометрии режущего инструмента, сплава и параметров резания. Группы материалов далее приходится разбивать на подгруппы и т.д. Sandvik Coromant в течение многих лет использует так называемую систему кодов СМС (Coromant Material Classification - Классификация материалов Coromant) для идентификации и описания материалов различных поставщиков, стандартов и рынков. Система СМС включает классификацию материалов по степени обрабатываемости, что позволяет, в сочетании с рекомендациями Sandvik Coromant, выбрать оптимальный инструмент и назначить соответствующие режимы резания.

Итак, чтобы структурировать и упростить выбор инструмента, обеспечивающего максимум производительности, мы создали новую классификацию материалов. Она имеет более детальную структуру, включает больше подгрупп и предоставляет дополнительную информацию о типе материала, содержании углерода, методе получения, термической обработке, твёрдости и др.

Структура кодов MC

Структура классификации такова, что один код MC может отображать несколько свойств и характеристик материала посредством буквенно-цифровой комбинации.

Пример 1:

Код P1.2.Z.AN

- P это код ISO для стали
- 1 это группа “нелегированная сталь”
- 2 это подгруппа “содержание углерода от 0,25% до 0,55 %”
- Z это технология изготовления “ковка/прокат/холодная вытяжка”
- AN это термическая обработка - “отжиг”, и соответствующее значение твёрдости

Пример 2

N1.3.C.AG

- N это код ISO для цветных металлов
- 1 это группа “алюминий”
- 3 это подгруппа “алюминий с содержанием кремния от 1% до 13%”
- C это технология изготовления “литьё”
- AG это термическая обработка - “дисперсионное твердение”.

Описывая не только состав материала, но и метод его получения и последующую термообработку, вне всякого сомнения, влияющие на механические свойства, мы формируем точную картину, которую можно использовать для выбора оптимальных параметров резания.

Удельная сила резания

Для расчета мощности, крутящего момента и усилия резания используется величина удельной силы резания k_{c1} . Его можно описать как усилие, F_c , в направлении резания (см. рисунок), необходимое для отрезания участка площадью 1 мм² толщиной 1 мм. Значение k_{c1} для каждой из шести групп материалов разное и, кроме того, варьируется в пределах каждой группы.

Значение k_{c1} действительно для нейтральной пластины с углом наклона $\gamma_0 = 0$. Для пластин с иными параметрами необходима коррекция табличного значения. Например, если угол наклона положительный - больше 0 градусов, то фактическое значение k_c уменьшится, что вычисляется по формуле:

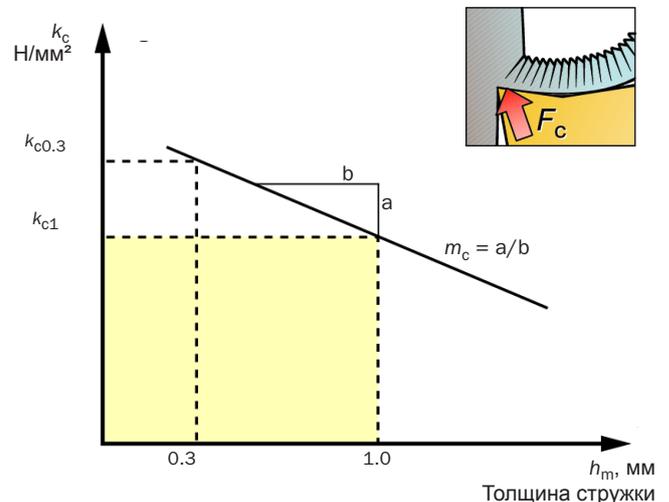
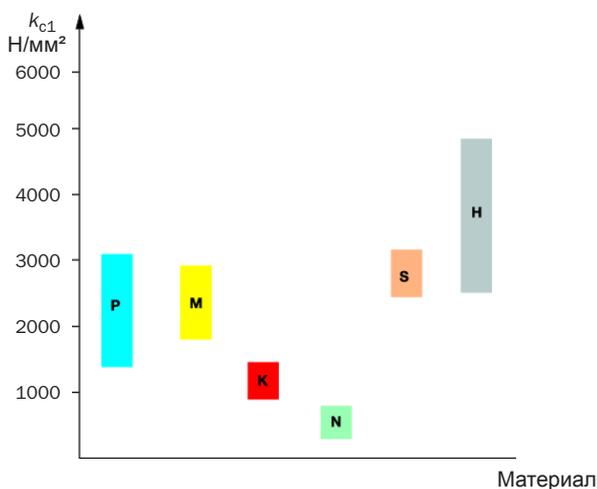
Удельная сила резания (k_c)
(Н/мм²)

$$k_c = k_{c1} \times h_m^{-m_c} \times \left(1 - \frac{\gamma_0}{100}\right)$$

Если фактическая толщина стружки h_m составляет к примеру 0,3 мм, то значение k_c будет больше, см. схему. Если фактическое значение k_c определено, то можно соответственно рассчитать требуемую на резание мощность:

Потребляемая мощность (P_c)
(кВт)

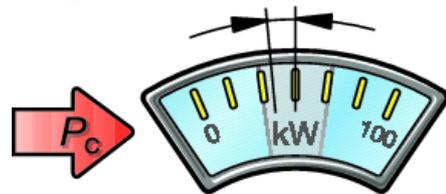
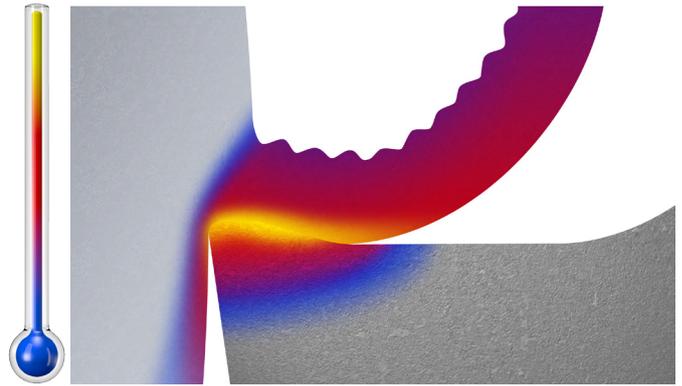
$$P_c = \frac{a_p \times a_e \times v_f \times k_c}{60 \times 10^6}$$



P Сталь

Определение

- Сталь - самая крупная по составу группа обрабатываемых материалов.
- Сталь может быть незакалённой, закалённой или отпущенной и иметь твёрдость до 400 HB. Стали твёрдостью в пределах от 48 до 65 HRC относятся к группе ISO H.
- Сталь - это сплав, основным компонентом которого является железо (Fe).
- Нелегированные стали содержат менее 0,8% углерода, остальную часть составляет железо без добавления легирующих элементов.
- Легированные стали содержат до 1,7% углерода, а также в их состав входят такие элементы как Ni, Cr, Mo, V и W.
- В низколегированных сталях содержание легирующих элементов составляет менее 5%.
- В высоколегированных сталях содержание легирующих элементов превышает 5%.



Обрабатываемость группы в целом

- Обрабатываемость стали зависит от состава легирующих элементов, термической обработки и метода получения (ковка, прокат, литьё и пр.).
- Хорошее стружкодробление и беспроблемный стружкоотвод.
- При обработке низкоуглеродистой стали, из-за ее высокой вязкости, образуется длинная, сливная стружка, что вызывает необходимость в острой режущей кромке.

- Удельная сила резания $k_{c1} = 1400-3100 \text{ Н/мм}^2$.
- Сила резания и, соответственно, необходимая для обработки мощность находятся в пределах ограниченного диапазона.

Более подробная информация по обработке материалов группы ISO P приведена в разделах "Точение" на стр. A22, "Фрезерование" на стр. D32 и "Сверление" на стр. E16.

Легирующие элементы

C - влияет на твёрдость. С увеличением содержания углерода повышается абразивный износ. Низкое содержание углерода (<0,2%) увеличивает адгезионный износ, что приводит к наростообразованию и плохому стружкодроблению.

Cr, Mo, W, V, Ti, Nb (карбидообразующие элементы) – повышают абразивный износ.

O - оказывает значительное влияние на обрабатываемость: образует неметаллические, окисные и абразивные включения.

Al, Ti, V, Nb - используются в виде мелкозернистых присадок; они делают сталь прочнее и трудно поддающейся обработке.

P, S, N снижают ковкость ферритной стали, что повышает адгезивный износ.

Положительный эффект

Pb в сталях повышенной обрабатываемости (с низкой температурой плавления) уменьшает трение между стружкой и пластиной, снижает износ и улучшает стружкодробление.

Ca, Mn (+S) образуют мягкие смазывающие сульфиды. Высокое содержание серы улучшает обрабатываемость и стружкодробление.

S - положительно сказывается на обрабатываемости.

Небольшие изменения процентного содержания - в пределах от 0,01% до 0,03% - могут оказывать существенный эффект на обрабатываемость.

Этот эффект используется в сталях повышенной обрабатываемости. Типичным является содержание серы около 0,25%. Сера образует мягкие включения сульфида марганца (MnS), создающие смазывающий слой между стружкой и режущей кромкой. Кроме того, MnS улучшает стружкодробление. Свинец (Pb) оказывает похожий эффект и часто используется в сочетании с серой в сталях повышенной обрабатываемости в концентрации около 0,25%.

Коды MC для стали

Сталь, с точки зрения обрабатываемости, делится на нелегированную, низколегированную, высоколегированную и спеченную сталь.

Код MC	Группа обрабатываемого материала	Подгруппа обрабатываемого материала	Метод получения	Термическая обработка	Твёрдость	Удельная сила резания, k_{c1} (Н/мм ²)	m_c				
P1.1.Z.AN	нелегированные, Mn<1,65	1 ≤0.25% C	Z	ковка/прокат/холодная вытяжка	AN	отжиг	125 HB	1500	0.25		
P1.1.Z.HT			Z	ковка/прокат/холодная вытяжка	HT	закалка+отпуск	190 HB	1770	0.25		
P1.2.Z.AN		2 >0.25... ≤0.55% C	Z	ковка/прокат/холодная вытяжка	AN	отжиг	190 HB	1700	0.25		
P1.2.Z.HT			Z	ковка/прокат/холодная вытяжка	HT	закалка+отпуск	210 HB	1820	0.25		
P1.3.Z.AN		3 высокоуглеродистая, >0,55% C	3	Z	ковка/прокат/холодная вытяжка	AN	отжиг	190 HB	1750	0.25	
P1.3.Z.HT				Z	ковка/прокат/холодная вытяжка	HT	закалка+отпуск	300 HB	2000	0.25	
P1.4.Z.AN		4 автоматная сталь	4	Z	ковка/прокат/холодная вытяжка	AN	отжиг	220 HB	1180	0.21	
P1.5.C.HT				5 любое содержание углерода (литьё)	C	литьё	UT	необработанная	150 HB	1400	0.25
P1.5.C.AN					C		HT	закалка+отпуск	300 HB	2880	0.25
P2.1.Z.AN		низколегированные (легирующих элементов ≤ 5%)	1 ≤0.25% C	Z	ковка/прокат/холодная вытяжка	AN	отжиг	175 HB	1700	0.25	
P2.2.Z.AN	2 >0.25... ≤0.55% C										Z
P2.3.Z.AN	3 высокоуглеродистая, >0,55% C		3	Z	ковка/прокат/холодная вытяжка	AN	отжиг	260 HB	2020	0.25	
P2.4.Z.AN				4 автоматная сталь	Z	ковка/прокат/холодная вытяжка	AN	отжиг	225 HB		
P2.5.Z.HT	5 любое содержание углерода (закалка+отпуск)		5	Z	ковка/прокат/холодная вытяжка	HT	закалка+отпуск	330 HB	2000	0.25	
P2.6.C.UT				6 любое содержание углерода (литьё)	6	C	литьё	UT	необработанная	200 HB	1600
P2.6.C.HT	C		HT			закалка+отпуск		380 HB	3200	0.25	
P3.0.Z.AN	высоколегированные (легирующих элементов > 5%)		0 основная группа	Z	ковка/прокат/холодная вытяжка	AN	отжиг	200 HB	1950	0.25	
P3.0.Z.HT		Z		ковка/прокат/холодная вытяжка	HT	закалка+отпуск	380 HB	3100	0.25		
P3.0.C.UT		0	C	литьё	UT	необработанная	200 HB	1950	0.25		
P3.0.C.HT					C	HT	закалка+отпуск	340 HB	3040	0.25	
P3.1.Z.AN		1 быстрорежущая сталь (HSS)	Z	ковка/прокат/холодная вытяжка	AN	отжиг	250 HB	2360	0.25		
P3.2.C.AQ		2 сталь с марганцем	C	литьё	AQ	отжиг/закалка или отжиг	300 HB	3000	0.25		
P4.0.S.NS	4 спеченная сталь	0 основная группа	S	спекание	NS	не указано	150 HB				

Как положительное, так и отрицательное влияние Si, Al, Ca - образуют оксидные включения, повышающие вероятность износа инструмента.

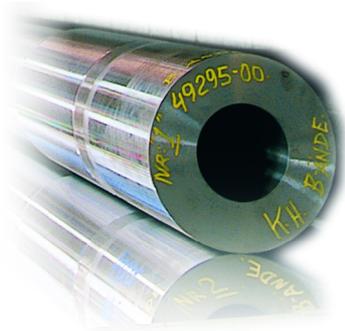
Включения в стали оказывают важное влияние на обрабатываемость, хотя и составляют в процентном отношении очень незначительные доли от общего объема. Это влияние может быть как положительным, так и отрицательным. Например, алюминий (Al) используется для раскисления расплавленного железа. В то же время, алюминий образует твёрдый абразивный оксид алюминия (Al₂O₃), отрицательно сказывающийся на обрабатываемости (похоже на покрытие из оксида алюминия на пластине). Однако этот отрицательный эффект можно компенсировать добавлением кальция (Ca), который образует мягкую оболочку вокруг абразивных частиц.

- Стальное литьё имеет грубую литейную корку, содержащую включения песка и шлака. Обработка таких заготовок предъявляет высокие требования к прочности режущей кромки.
- Стальной прокат имеет довольно большую зернистость, что делает структуру неоднородной, вызывая колебания усилий резания.
- Кованая сталь имеет меньшую зернистость и более однородную структуру, что улучшает её обрабатываемость.

Нелегированная сталь – P 1.1-1.5

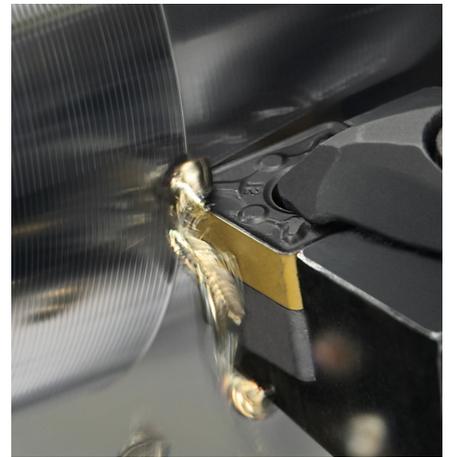
Определение

В нелегированной стали максимальное содержание углерода обычно составляет 0,8%, и в отличие от легированных сортов она не содержит дополнительных легирующих элементов. Твёрдость стали варьируется от 90 до 350HV. Более высокое процентное содержание углерода (>0,2%) позволяет подвергать сталь закалке.



Обрабатываемость

Основные трудности при обработке низкоуглеродистых сталей (< 0,25%) связаны с неудовлетворительным стружкодроблением и наростообразованием. Обработка данного типа сталей характеризуется высокими скоростями резания, острокромочной геометрией пластин с положительным передним углом и тонкими покрытиями. При точении для улучшения стружкодробления рекомендуется вести обработку с глубиной резания приблизительно равной или большей радиуса при вершине пластины. Обработка сталей повышенной твердости сопровождается повышенным износом по задней поверхности пластины.



Низколегированная сталь – P 2.1-2.6

Определение

Низколегированная сталь - наиболее распространенный тип стали в металлообработке. В эту группу входят мягкие и закалённые до 50 HRC сорта стали.



Типовые детали

Легированная молибденом и хромом сталь используется для изготовления сосудов давления, эксплуатируемых в условиях высоких температур. Типовые детали, изготавливаемые из низколегированной стали: оси, валы, трубы и кованые изделия. В автомобильной промышленности из неё делают шатуны, распределительные валы, колёсные ступицы и рулевые шестерни.



► Низколегированная сталь – P 2.1-2.6 - продолжение

Обрабатываемость

Обрабатываемость низколегированной стали зависит от содержания легирующих элементов и термической обработки (твёрдости). Для всех материалов в этой группе наиболее общими механизмами износа являются лункообразование и износ по задней поверхности.

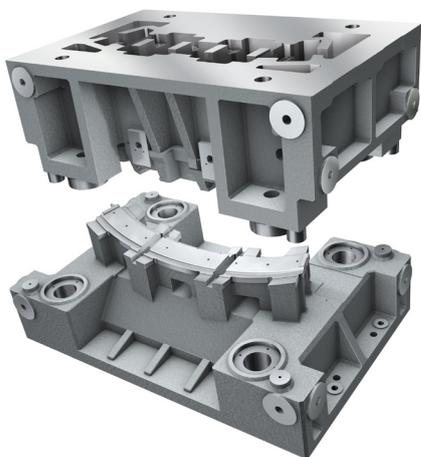
При обработке закалённых материалов в зоне резания выделяется значительное количество тепла, что может привести к пластической деформации режущей кромки.



Высоколегированная сталь – P 3.0-3.2

Определение

К высоколегированной стали относятся углеродистые стали с общим содержанием легирующих элементов более 5%. В эту группу входят и мягкие, и закалённые сорта (до 50 HRC).

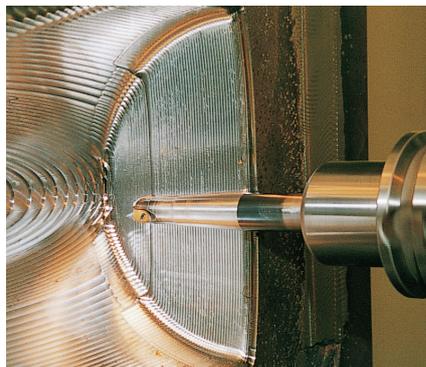


Типовые детали

Детали станков, штампы, детали гидравлики, цилиндры и режущие инструменты (HSS).

Обрабатываемость

Как правило, обрабатываемость снижается с повышением содержания легирующих элементов и твёрдости. Например, при 12-15%-м содержании легирующих элементов и твёрдости до 450 НВ режущей кромке требуется хорошая термостойкость, чтобы противостоять пластической деформации.



М Нержавеющая сталь

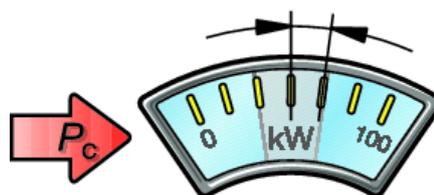
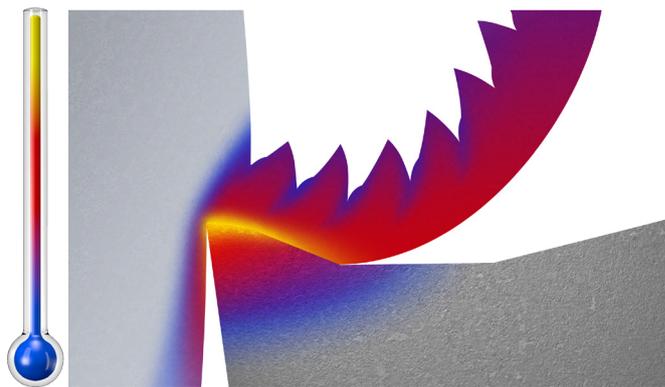
Определение

- Сплав на основе железа как основного компонента (Fe).
- Содержание хрома превышает 12%.
- Как правило, с низким содержанием углерода ($C \leq 0,05 \%$).
- Добавление элементов, таких как никель (Ni), хром (Cr), молибден (Mo), ниобий (Nb) и титан (Ti) определяет разные эксплуатационные свойства сплава, например, стойкость к коррозии или прочность при высоких температурах.
- Хром при взаимодействии с кислородом (O) образует пассивирующий слой Cr_2O_3 на поверхности стали, что придает ей стойкость к коррозии.

Обрабатываемость в целом

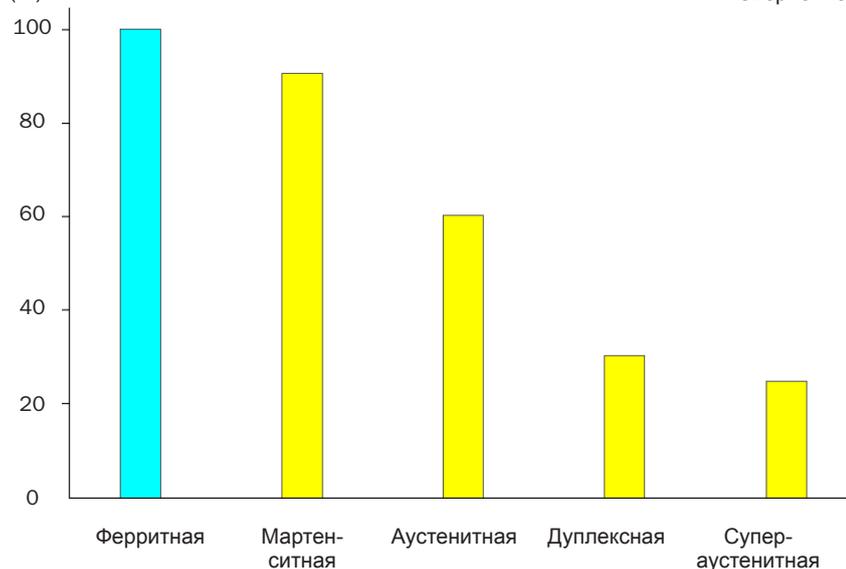
Обрабатываемость нержавеющей стали зависит от состава легирующих элементов, термической обработки и метода получения заготовки (ковка, литьё и пр.). В целом, обрабатываемость ухудшается с повышением содержания легирующих элементов, но во всех группах нержавеющей стали присутствуют стали улучшенной обрабатываемости.

- Материал, дающий сливную стружку.
- Удовлетворительный отвод стружки при обработке ферритных/мартенситных сталей и более затрудненное стружкодробление при резании аустенитных и дуплексных.
- Удельная сила резания: 1800-2850 Н/мм².
- Механическая обработка нержавеющей сталей характеризуется значительными усилиями резания, наростообразованием на кромке, а также наблюдается упрочнение поверхностного слоя.
- Аустенитная структура с повышенным содержанием азота (N) обладает повышенной прочностью и стойкостью к коррозии, имеет низкую обрабатываемость наряду с увеличенной стойкостью к деформации.
- Сера (S) повышает обрабатываемость нержавеющей стали.



- При обработке сталей с высоким содержанием углерода (>0,2%) наблюдается интенсивный износ по задней поверхности.
- Молибден и азот ухудшают обрабатываемость, но обеспечивают кислотостойкость и способствуют термостойкости.
- SANMAC (торговое наименование фирмы Sandvik) - материал, обрабатываемость которого улучшена путем оптимизации объемной доли сульфидов и оксидов без ущерба для коррозионной стойкости.

Относительная обрабатываемость (%)

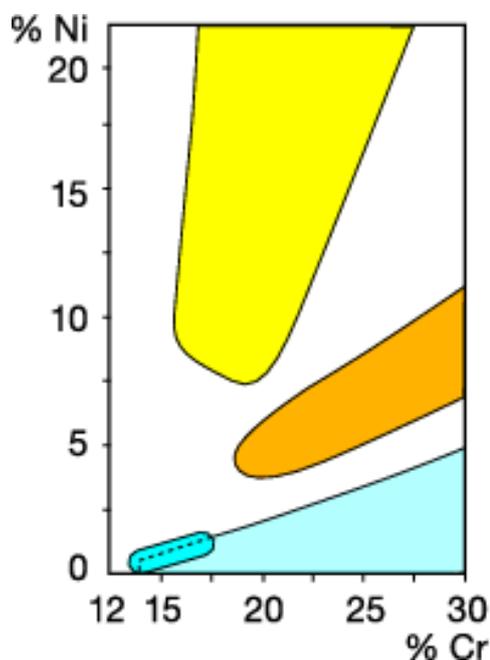


Более подробная информация по обработке материалов ISO M приведена в разделах "Точение", с. А 25, "Фрезерование", с. D 34 и "Сверление", с. Е 16.

Коды МС для нержавеющей стали

Код МС	Группа обрабатываемого материала	Подгруппа обрабатываемого материала	Метод получения	Термическая обработка	Твёрдость	Удельная сила резания, k_{c1} (Н/мм ²)	m_c			
P5.0.Z.AN	5	0 основная группа	Z	АН отжиг	200 НВ	1800	0.21			
P5.0.Z.HT	5		Z	ковка/прокат/ холодная вытяжка	НТ закалка+отпуск	330 НВ	2300	0.21		
P5.0.Z.PH	5		Z		РН дисперсионное затвердевание	330 НВ	2800	0.21		
P5.0.C.UT	5		C	литьё	УТ необработанная	250 НВ	1900	0.25		
P5.0.C.HT	5		C		НТ закалка+отпуск	330 НВ	2100	0.25		
P5.1.Z.AN	5	1 автоматная сталь	Z	ковка/прокат/ холодная вытяжка	АН отжиг	200 НВ	1650	0.21		
M1.0.Z.AQ	1	0 основная группа	Z	ковка/прокат/ холодная вытяжка	AQ отжиг/закалка или отжиг	200 НВ	2000	0.21		
M1.0.Z.PH	1		Z		РН дисперсионное затвердевание	300 НВ	2400	0.21		
M1.0.C.UT	1		C	литьё	УТ необработанная	200 НВ	1800	0.25		
M1.1.Z.AQ	1	1 повышенной обрабатываемости (как у ANMAC)	Z	ковка/прокат/ холодная вытяжка	AQ	отжиг/закалка или отжиг	200 НВ	2000	0.21	
M1.1.Z.AQ	1		Z		автоматная сталь		AQ	200 НВ	1800	0.21
M1.3.Z.AQ	1		3 стабилизация титаном	Z	AQ		200 НВ	1800	0.21	
M1.3.C.AQ	1			C	литьё		AQ	200 НВ	1800	0.25
M2.0.Z.AQ	2	0 основная группа	Z	ковка/прокат/ холодная вытяжка	AQ	200 НВ	2300	0.21		
M2.0.C.AQ	2		C	литьё	AQ	200 НВ	2150	0.25		
M3.1.Z.AQ	3	1 >60% феррита (грубо N<0,10%)	Z	ковка/прокат/ холодная вытяжка	AQ	отжиг/закалка или отжиг	230 НВ	2000	0.21	
M3.1.C.AQ	3		C	литьё	AQ		230 НВ	1800	0.25	
M3.2.Z.AQ	3		2 >60% феррита (грубо N≥0,10%)	Z	ковка/прокат/ холодная вытяжка		AQ	260 НВ	2400	0.21
M3.2.C.AQ	3			C	литьё		AQ	260 НВ	2200	0.25

Определение группы материалов



Микроструктура, которую принимает нержавеющая сталь, зависит в первую очередь от химического состава, в котором самыми важными легирующими элементами являются хром (Cr) и никель (Ni), см. схему. В реальной ситуации варьирование может быть в достаточно широком диапазоне из-за влияния других легирующих элементов, стабилизирующих либо аустенит, либо феррит. Структура может быть также изменена горячей или, в некоторых случаях, холодной обработкой. Дисперсионно-твердеющая ферритная или аустенитная нержавеющая сталь имеет повышенную прочность на растяжение.

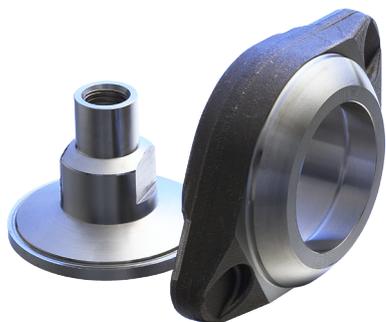
- Аустенитная сталь
- Аустенитно-ферритная (дуплексная) сталь
- Ферритно-хромистая сталь
- Мартенситно-хромистая сталь

Ферритная и мартенситная нержавеющая сталь – P5.0-5.1

Определение

С точки зрения обрабатываемости ферритная и мартенситная нержавеющая сталь относится к группе ISO P. Обычное содержание хрома составляет 12-18%. Прочие легирующие элементы представлены лишь в незначительном объеме.

В мартенситной нержавеющей стали относительно высокое содержание углерода, что позволяет подвергать её закалке. Ферритная сталь обладает магнитными свойствами. Свариваемость и у ферритных, и у мартенситных сортов стали не очень хорошая, а стойкость к коррозии - от средней до удовлетворительной, повышается добавлением хрома.



Типовые детали

Часто используется там, где предъявляются невысокие требования к коррозионной стойкости. Ферритная сталь относительно дешевая благодаря небольшому содержанию никеля. Примеры областей применения: валы насосов, паровые и водяные турбины, гайки, болты, водонагреватели, бумажная и пищевая промышленность в связи с невысокими требованиями к коррозионной стойкости.

Мартенситную сталь можно закалять. Она используется для ножевых и бритвенных лезвий, хирургических инструментов и пр.

Обрабатываемость

Обрабатываемость, в целом, хорошая и очень похожа на обрабатываемость низколегированной стали, поэтому эта сталь отнесена к группе ISO P. Высокое содержание углерода (>0,2%) позволяет закалять сталь. При обработке возникает износ по задней поверхности и лункообразование, сопровождающееся наростом. Сплавы и геометрии, оптимизированные для обработки материалов группы ISO P, обеспечивают хорошие результаты.



Аустенитная и супераустенитная нержавеющая сталь – M1.0-2.0

Определение

Аустенитная сталь - основная группа нержавеющих сталей; самый распространенный состав - 18% хрома и 8% никеля (т.н. сталь "18/8", тип 304). Более стойкая к коррозии сталь получается добавлением 2-3% молибдена, такую сталь часто называют кислотостойкой: (тип 316). В группу MC также входят супераустенитные сорта нержавеющей стали с содержанием никеля более 20%. Дисперсионно-твердеющая аустенитная сталь (PH) имеет аустенитную структуру в закалённом состоянии, содержание хрома составляет >16%, никеля >7% и алюминия - около 1%. Типичная дисперсионно-твердеющая сталь - 17/7 PH.



Типовые детали

Используется там, где требуется хорошая стойкость к коррозии. Очень хорошая свариваемость и жаропрочность. Основные области применения: химическая, целлюлозно-бумажная и пищевая промышленность, выпускные коллекторы для самолетов. Хорошие механические свойства оптимизируются холодной обработкой.



➤ Аустенитная и супераустенитная нержавеющая сталь – M1.0-2.0 - продолжение

Обрабатываемость

Следствием механического упрочнения является высокая твердость поверхности, что при обработке аустенитных сталей становится причиной образования проточин на инструменте. Характерными для данного типа сталей формами износа также являются адгезия и наростообразование (BUE). Относительная обрабатываемость составляет 60%. При обработке сталей в закаленном состоянии возможен отрыв покрытия, выкрашивания и ухудшение качества поверхности. Аустенит дает прочную, длинную, непрерывную, плохо ломающуюся стружку. Добавление серы улучшает обрабатываемость, но снижает стойкость к коррозии.

Используйте острокромочные пластины с положительной геометрией. Рекомендуется вести обработку с постоянной глубиной резания, причем её значение должно быть больше, чем толщина упрочненного слоя. Обработка аустенитных сталей характеризуется выделением большого количества тепла.

Дуплексная нержавеющая сталь – M 3.41-3.42

Определение

При добавлении никеля в ферритную хромистую нержавеющую сталь формируется структура/матрица со смешанной основой, содержащая и феррит, и аустенит. Такая нержавеющая сталь называется дуплексной. Дуплексная сталь имеет высокую прочность на растяжение и очень высокую стойкость к коррозии. Название "супердуплексная" и "гипердуплексная" означают повышенное содержание легирующих элементов и еще большую стойкость к коррозии. Как правило, в дуплексной стали содержание хрома колеблется от 18 до 28% и никеля - от 4 до 7%. При этом доля феррита составляет 25-80%. Ферритная и аустенитная фазы при комнатной температуре обычно находятся в соотношении 50-50%. Типичные марки дуплексных нержавеющих сталей SANDVIK - SAF 2205, SAF 2507.



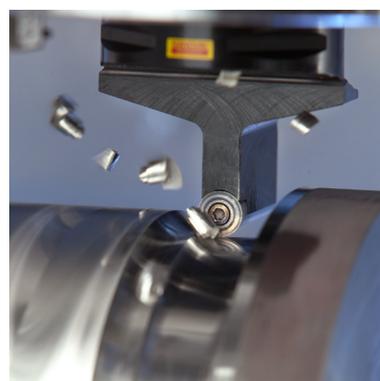
Типовые детали

Стали применяются в химической, пищевой, строительной, медицинской, целлюлозно-бумажной промышленности и в технологических процессах с использованием кислот и хлора. Часто используется в оборудовании для добычи нефти и газа в море.

Обрабатываемость

Относительная обрабатываемость в целом плохая - 30%, из-за высокого предела текучести и повышенной прочности на растяжение. Высокое содержание феррита - более 60% - улучшает обрабатываемость. При механообработке образуется прочная стружка, которая может стать причиной повреждения нижележащей нерабочей режущей кромки, а также возникают высокие усилия резания. При резании выделяется много тепла, которое может привести к пластической деформации и интенсивному лункообразованию.

Во избежание выкрашиваний и появления заусенцев предпочтительны инструменты с небольшим углом в плане. Необходимым условием является надёжное закрепление инструмента и фиксация заготовки.



К Чугун

Определение

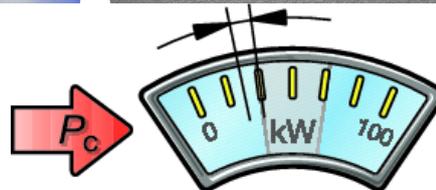
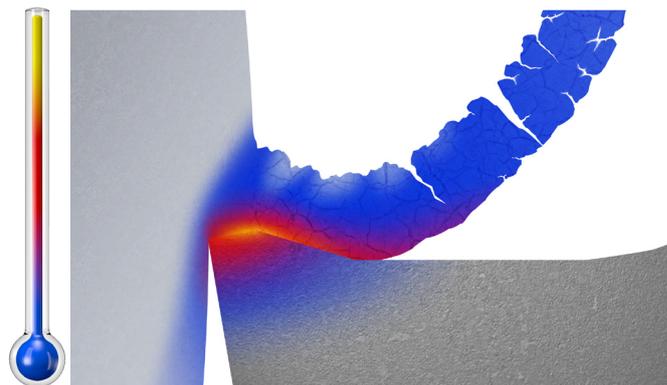
Существует 5 основных типов чугуна:

- Серый чугун (GCI),
- Ковкий чугун (MCI),
- Чугун с шаровидным графитом (NCI),
- Чугун с вермикулярным графитом (CGI)
- Отпущенный ковкий чугун (ADI).

Чугун - это сплав железа с углеродом и относительно высоким содержанием кремния (1-3%). Содержание углерода в чугуне превышает 2%, что является максимальной растворимостью углерода в аустенитной фазе. Хром (Cr), молибден (Mo) и ванадий (V) образуют карбиды, придающие прочность и твёрдость, но ухудшающие обрабатываемость чугуна.

Обрабатываемость в целом

- При обработке чугуна не возникает трудностей со стружкодроблением, так как образуется короткая сыпучая стружка. Удельная сила резания: 790 – 1350 Н/мм².
- При обработке на высокой скорости, особенно чугунов с включениями песка, происходит абразивный износ инструмента.
- Чугуны NCI, CGI и ADI требуют особого внимания из-за разных механических свойств и наличия графита в матрице в отличие от обычного чугуна GCI.
- Чугуны часто обрабатывают пластинами без задних углов, имеющими прочные кромки и надёжными в применении.
- Основа сплава должна быть твёрдой, а покрытие должно содержать толстый слой оксида алюминия, обеспечивающего стойкость к абразивному износу.
- Чугуны традиционно подвергаются сухой обработке, но возможна и обработка с СОЖ - главным образом для минимизации углеродно-железной пыли. Имеются также сплавы, рекомендуемые для обработки с применением СОЖ.



Более подробная информация по обработке материалов ISO K приведена в разделах “Точение”, с. А 28, “Фрезерование”, с. D 36 и “Сверление”, с. E 16.

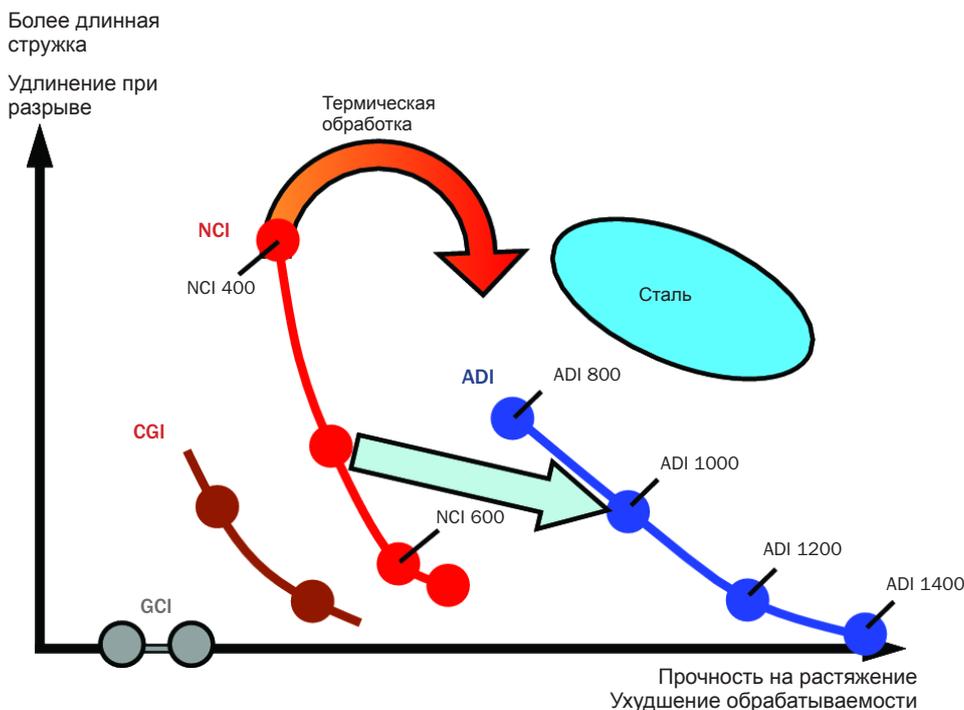
Влияние твёрдости

- Влияние твёрдости чугуна на его обрабатываемость происходит по тем же правилам, что и для других материалов.
- Чугуны ADI (отпущенный ковкий чугун), CGI (чугун с вермикулярным графитом) и NCI (чугун с шаровидным графитом) имеют твёрдость до 300-400 НВ. Твёрдость чугунов MCI (ковкий чугун) и GCI (серый чугун) составляет в среднем 200-250 НВ.
- Твёрдость белого чугуна может превышать 500 НВ при частом охлаждении, когда вместо свободного углерода в результате реакции углерода с железом образуется карбид железа Fe₃C (цементит). Белый чугун очень абразивен и трудно поддается обработке.

Коды MC для чугуна

По степени обрабатываемости чугуны делятся на ковкий, серый, с шаровидным графитом, с вермикулярным графитом (CGI) и отпущенный ковкий (ADI). Наивысшей твёрдостью характеризуются чугун с шаровидным графитом и отпущенный ковкий чугун.

Код MC	Группа материалов		Подгруппа обрабатываемого материала	Метод получения		Термическая обработка		Твёрдость	Удельная сила резания, k_{c1} (Н/мм ²)	m_c		
K1.1.C.NS	1	ковкий чугун	1	низкая прочность на растяжение	C	литьё	NS	не указано	200 HB	780	0.28	
K1.2.C.NS			2	высокая прочность на растяжение			NS		260 HB	1020	0.28	
K2.1.C.UT	2	серый чугун	1	низкая прочность на растяжение	C	литьё	UT	необработанный	180 HB	900	0.28	
K2.2.C.UT			2	высокая прочность на растяжение					UT	245 HB	1100	0.28
K2.3.C.UT			3	аустенитный					UT	175 HB	1300	0.28
K3.1.C.UT	3	чугун с шаровидным графитом	1	ферритный	C	литьё	UT	необработанный	155 HB	870	0.28	
K3.2.C.UT			2	ферритный/перлитный					UT	215 HB	1200	0.28
K3.3.C.UT			3	перлитный					UT	265 HB	1440	0.28
K3.4.C.UT			4	мартенситный					UT	330 HB	1650	0.28
K3.5.C.UT			5	аустенитный					UT	190 HB		
K4.1.C.UT	4	чугун с вермикулярным графитом	1	низкая прочность на растяжение (перлит <90%)	C	литьё	UT	необработанный	160 HB	680	0.43	
K4.2.C.UT			2	высокая прочность на растяжение (перлит ≥90%)					UT	230 HB	750	0.41
K5.1.C.NS	5	отпущенный ковкий чугун	1	низкая прочность на растяжение	C	литьё	NS	не указано	300 HB			
K5.2.C.NS			2	высокая прочность на растяжение					NS	400 HB		
K5.3.C.NS			3	сверхвысокая прочность на растяжение					NS	460 HB		



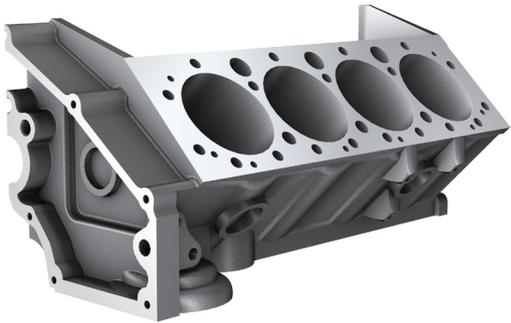
Закалка с отпуском превращает ковкий чугун (NCI) в отпущенный ковкий чугун (ADI).

Ковкий чугун (MCI) К 1.1-1.2 и серый чугун (GCI) К 2.1-2.3

Определение

Ковкий чугун изготавливается из почти белого железа, подвергаемого двухэтапной закалке. В результате получается структура “феррит+перлит+закалённый углерод” с нестандартными графитовыми зёрнами по сравнению с более хрупкой, слоистой структурой серого чугуна. Этим объясняется то, что ковкий чугун менее чувствителен к растрескиванию, и имеет более высокую прочность на разрыв.

В сером чугуне графит присутствует в виде хлопьев, и его основными характеристиками являются: низкая ударная вязкость (хрупкость); хорошая теплопроводность - выделяет меньше тепла во время работы двигателя и при резании; хорошие амортизирующие свойства - поглощает вибрацию в двигателе.



Типовые детали

Из ковкого чугуна традиционно изготавливаются подшипники осей, колеса гусениц, фитинги для труб и высокопрочные шестерни.

Детальями, чаще всего изготавливаемыми из серого чугуна, являются сковороды, блоки двигателей, цилиндры для компрессоров, шестерни и корпуса коробок передач.

Обрабатываемость

Ковкий чугун имеет более высокую прочность на растяжение по сравнению с GCI и по обрабатываемости напоминает чугун NCI. Но оба этих типа демонстрируют в целом превосходные характеристики при резании. Вообще говоря, чугун с перлитной структурой провоцирует абразивный износ, а с ферритной структурой - адгезионный.

Серый чугун имеет низкую ударную вязкость, создает небольшие режущие усилия и демонстрирует очень хорошую обрабатываемость. При его обработке не наблюдается износа химического типа, а возникает только абразивный износ. Серый чугун часто легируется хромом для улучшения механических свойств. Повышенная прочность приводит к ухудшению обрабатываемости.

Чугун с шаровидным графитом (NCI) К 3.1-3.5

Определение

В чугуне с шаровидным графитом, как следует из названия, графит имеет сферическую форму. Главными отличительными чертами являются: хорошая жёсткость (модуль упругости); хорошая ударная вязкость - прочный, нехрупкий, материал; хорошая прочность на растяжение; плохие амортизирующие свойства - отсутствует способность поглощать вибрацию в двигателе; низкая теплопроводность - большое выделение тепла при резании. По сравнению с чугуном GCI, графит в NCI находится в форме узелков, что придает высокую прочность на растяжение и жёсткость.



► Чугун с шаровидным графитом (NCI) К 3.1-3.5 - продолжение



Типовые детали

Втулки, трубы, ролики, выпускные коллекторы, коленчатые валы, корпуса дифференциалов, колпаки подшипников, опорные плиты, корпуса турбонагнетателей, диски муфт сцепления и маховики.

Корпуса турбонагнетателей и выпускные коллекторы часто изготавливаются из более термостойкого чугуна с добавлением SiMo.

Обрабатываемость

Чугун с шаровидным графитом имеет ярко выраженную тенденцию к наростообразованию при обработке. Эта тенденция наиболее явно прослеживается у мягких чугунов NCI с высоким содержанием феррита. При обработке деталей с высоким содержанием феррита и при прерывистом резании часто преобладает адгезионный вид износа, что может вызвать проблемы с отслаиванием покрытия.

Адгезионный износ менее заметен у более твёрдых чугунов NCI с повышенным содержанием перлита. Для них наиболее характерны абразивный износ и/или пластическая деформация.



Чугун с вермикулярным графитом (CGI) К 4.1-4.2

Определение

Чугун с вермикулярным графитом отвечает возрастающим требованиям к прочности и снижению массы, сохраняя при этом достаточно хорошую обрабатываемость.

Тепломеханические и амортизирующие характеристики чугуна CGI находятся между параметрами чугунов NCI и GCI. Стойкость к усталостному разрушению вдвое выше аналогичного показателя серого чугуна. Частицы графита в CGI вытянутые и беспорядочно направленные, как и в сером чугуне, но короче, толще и имеют закругленные края. Кораллообразная морфология чугуна CGI, в сочетании с закругленными краями и нестандартными шишковидными поверхностями частиц графита, обеспечивает мощную адгезию между графитом и железом. Вот почему механические свойства чугуна CGI настолько оптимизированы по сравнению с серым чугуном. Наиболее распространённым является чугун CGI с содержанием перлита до 90%.

➤ Чугун с вермикулярным графитом (CGI) К 4.1-4.2 - продолжение



Типовые детали

Чугун CGI хорошо подходит для изготовления двигателей, где требуются более легкие и прочные материалы, способные поглощать больше мощности. Масса блока двигателя из чугуна с вермикулярным графитом примерно на 20% меньше по сравнению с блоком двигателя из GCI. Среди других деталей можно назвать головки цилиндров и дисковые тормоза.

Обработываемость

По обработываемости чугун с вермикулярным графитом находится между серым и с шаровидным графитом. Имея прочность на растяжение, в 2-3 раза превышающую этот показатель у серого чугуна, и более низкую теплопроводность, чугун CGI создает при обработке большие режущие усилия и выделяет больше тепла при резании. Повышенное содержание титана в CGI отрицательно сказывается на стойкости инструмента.

Наиболее распространенные виды обработки - торцевое фрезерование и растачивание отверстий. Фрезерная обработка методом круговой интерполяции вместо операции растачивания характеризуется увеличенными стойкостью и производительностью.

Отпущенный ковкий чугун (ADI) К 5.1-5.3

Определение

Отпущенный ковкий чугун относится к семейству закалённых чугунов. Термическая обработка с отпуском превращает пластичный чугун в отпущенный пластичный чугун (ADI), имеющий превосходную прочность, жёсткость и стойкость к усталостному разрушению. ADI имеет более высокую удельную прочность, чем алюминий, и такую же износостойкость, как сталь. Прочность на растяжение и предел текучести вдвое превосходят соответствующие параметры обычного ковкого чугуна. Усталостная прочность выше на 50%, она также может быть увеличена дробеструйной обработкой или галтельной прокаткой.



Типовые детали

Чугун ADI все больше вытесняет стальное литьё и поковку, сварные конструкции, цементированную сталь и алюминий благодаря своим превосходным свойствам. Основной областью применения является автомобильная промышленность, где он используется для деталей подвески и трансмиссии. Он также используется в энергетике, горнодобывающей промышленности и строительстве.

Обработываемость

При обработке чугуна ADI следует ожидать 40-50% сокращения срока службы инструментов по сравнению с чугуном NCI. Прочность на растяжение и ковкость чугуна ADI близки к аналогичным показателям стали, но в отношении стружкообразования ADI ведет себя как обычный ковкий чугун (характеризуется образованием сегментной стружки).

По сравнению со сталью аналогичной твёрдости микротвёрдость отпущенного ковкого чугуна выше. В микроструктуре чугунов ADI более высокого уровня содержатся твёрдые частицы. Большие тепловые и механические нагрузки, из-за высокой прочности и ковкости, приводят к повышенному износу режущей кромки из-за сегментного характера стружки. Упрочнение в процессе резания приводит к возникновению больших динамических усилий резания. Температура режущей кромки является основным фактором, определяющим износ.

N Цветные металлы

Определение:

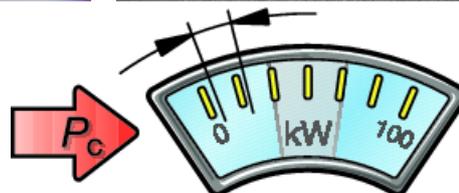
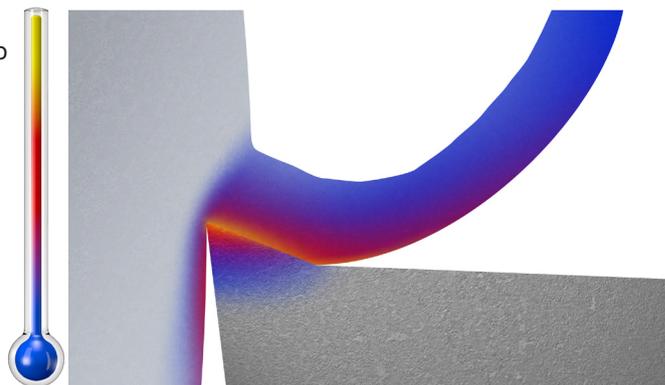
- В эту группу входят цветные, мягкие металлы твёрдостью до 130 НВ, кроме высокопрочной бронзы (>225НВ).
- Сплавы алюминия (Al) с содержанием кремния (Si) до 12-13% - самая крупная подгруппа.
- MMC: композитный материал с металлической матрицей, Al + SiC (20-30%).
- Сплавы на основе магния
- Медь, электролитическая медь (99,95% Cu).
- Бронза: сплав меди с оловом (Sn) (10-14%) и/или алюминием (3-10%).
- Латунь: сплав меди (60-85%) с цинком (Zn) (15-40%).

Обрабатываемость алюминия

- Материал, дающий длинную стружку.
- Относительно хорошее стружкодробление при условии легирования.
- Чистый алюминий вязок и требует острых режущих кромок и высокой скорости резания v_c .
- Удельная сила резания: 350–700 Н/мм².
- Усилия резания и, соответственно, мощность, необходимая для резания, небольшие.
- При содержании кремния до 7-8% можно обрабатывать мелкозернистыми твёрдыми сплавами без покрытия, а при большем содержании кремния - сплавами с вставками из PCD для алюминия.
- Алюминий с содержанием кремния >12% очень абразивен.

Типовые детали

Блоки двигателей, головки цилиндров, корпуса КПП, кожухи, элементы корпусов самолёта.



Более подробная информация по обработке материалов группы ISO N приведена в разделах "Точение", с. А 39, "Отрезка и обработка", с. В 10, "Фрезерование", с. D 38 и "Сверление", с. E 17.

Коды MC для материалов N

Код MC	Группа материалов	Подгруппа обрабатываемого материала	Метод получения		Термическая обработка		Твёрдость	Удельная сила резания, k_{c1} (Н/мм ²)	m_c	
N1.1.Z.UT	сплавы на основе алюминия	1 технически чистые	Z	литьё	UT	необработанные	30 НВ	350	0.25	
N1.2.Z.UT					UT		60 НВ			400
N1.2.Z.AG			Z	литьё	AG	подверженные старению	100 НВ	650	0.25	
N1.2.S.UT			S		спекание	UT	необработанные			75 НВ
N1.2.C.NS		C	литьё	NS	не указано	80 НВ	410	0.25		
N1.3.C.UT		UT		необработанные	75 НВ	600			0.25	
N1.3.C.AG		AG		подверженные старению	90 НВ		700	0.25		
N1.4.C.NS		NS		не указано	130 НВ	700			0.25	
N2.0.C.UT		2 сплавы на основе магния		0 основная группа	C		литьё	UT		необработанные
N3.1.U.UT		сплавы на основе меди		1 бессвинцовые сплавы меди (включая электролитическую медь)	U	не указано	UT	необработанные	100 НВ	1350
N3.2C.UT	2 свинцовистая латунь и бронза ($Pb \leq 1\%$)		C						литьё	
N3.3.S.UT	S		спекание	UT	35 НВ					
N3.3.U.UT	3 сплавы на основе автоматной меди ($Pb > 1\%$)		U	не указано	UT	110 НВ	550		0.25	
N3.4.C.UT	4 высокопрочная бронза (>225НВ)		C	литьё	UT	300 НВ				
N4.0.C.UT	4 сплавы на основе цинка	0 основная группа	C	литьё	UT	необработанные	70 НВ			

S Жаропрочные сплавы (HRSA) и титан

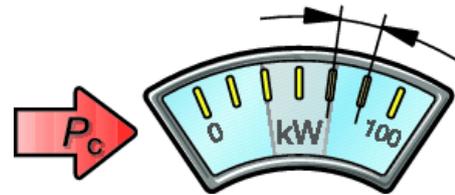
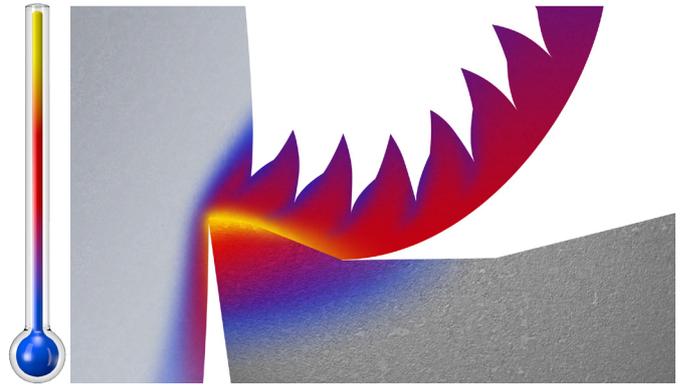
Определение

- Группу ISO S можно разделить на жаропрочные сплавы (HRSA) и титан.
- Жаропрочные сплавы HRSA можно подразделить на 3 категории: сплавы на основе никеля, железа и кобальта.
- Условия обработки: отжиг, химико-термическая обработка, старение, прокатка, ковка, литьё.
- Свойства: повышенное содержание легирующих элементов (кобальта больше, чем никеля) обеспечивает повышенную жаропрочность, прочность на растяжение и стойкость к коррозии.

Обработываемость в целом

- Физические свойства и поведение при обработке отдельных сплавов значительно отличаются, как в силу химических свойств сплава, так и конкретной металлургической обработки в процессе изготовления.
- Особенно большое влияние на обработываемость оказывают отжиг и старение.
- Затруднённый стружкоотвод (сегментная стружка).
- Удельная сила резания: 2400-3100 Н/мм² у жаропрочных сплавов и 1300-1400 Н/мм² у титана.
- Усилия резания и требуемая мощность довольно высокие.

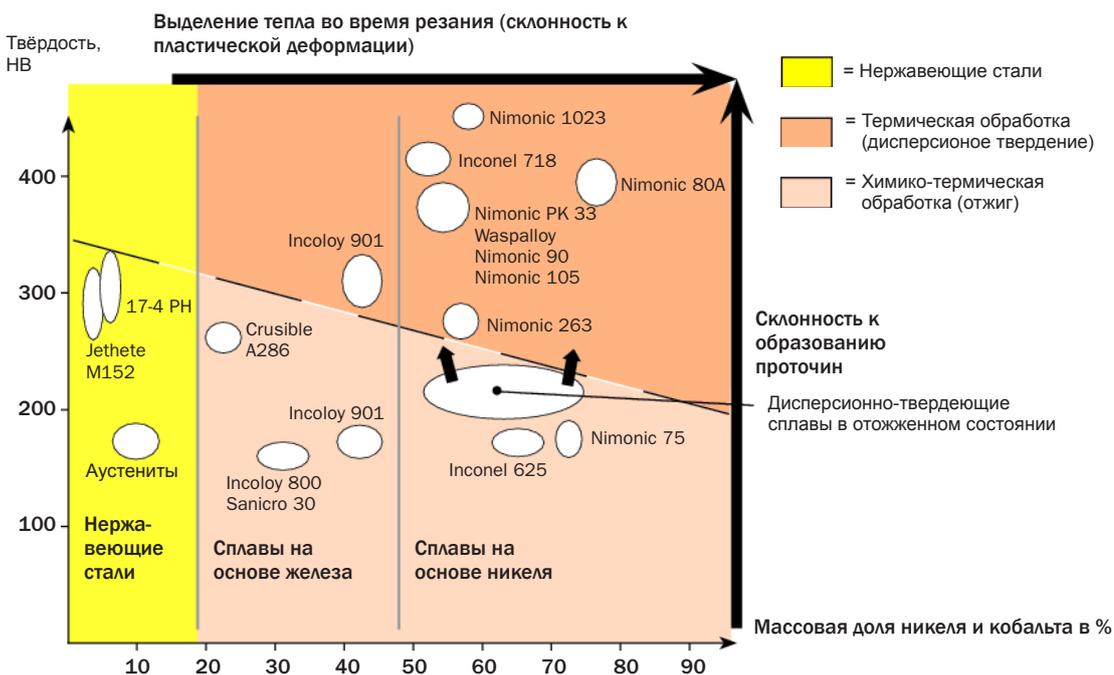
Более подробная информация по обработке материалов группы ISO S приведена в разделах "Точение", с. А 30, "Отрезка и обработка канавок", с. В 9, "Фрезерование", с. D 39 и "Сверление", с. E 17.



Старение

Для достижения более высокой прочности жаропрочные сплавы можно подвергать старению.

При обработке материала при высокой температуре, т.е. при старении, в сплаве осаждаются мелкие интерметаллические частицы. Эти частицы мешают движению в кристаллической структуре и в результате материал становится менее податливым деформации.



Коды MC для материалов S

С точки зрения обрабатываемости сплавы HRSA делятся на сплавы на основе железа, никеля и кобальта. Титан делится на технически чистый, альфа-сплавы и близкие к ним сплавы, альфа/бета-сплавы и бета-сплавы.

Код MC	Группа материалов		Подгруппа обрабатываемого материала	Метод получения		Термическая обработка		Твёрдость	Удельная сила резания, $k_{с1}$ (Н/мм ²)	m_c	
	1	2		U		AN					
S1.0.U.AN	1	сплавы на основе железа	1	основная группа	U	не указано	AN	отжиг	200 HB	2400	0.25
S1.0.U.AG	1		2		U		AG	старение	280 HB	2500	0.25
S2.0.Z.AN	2	сплавы на основе никеля	0	основная группа	Z	ковка/прокат/ холодная вытяжка	AN	отжиг	250 HB	2650	0.25
S2.0.Z.AG	2		0		AG		старение	350 HB	2900	0.25	
S2.0.Z.UT	2		0		UT		необработанные	275 HB	2750	0.25	
S2.0.C.NS	2		0		C		литьё	NS	не указано	320 HB	3000
S3.0.Z.AN	3	сплавы на основе кобальта	0	основная группа	Z	ковка/прокат/ холодная вытяжка	AN	отжиг	200 HB	2700	0.25
S3.0.Z.AG	3		0		AG		старение	300 HB	3000	0.25	
S3.0.C.NS	3		0		C		литьё	NS	не указано	320 HB	3100
S4.1.Z.UT	4	сплавы на основе титана	1	технически чистый титан (99,5% Ti) альфа-сплавы и близкие к ним сплавы альфа/бета-сплавы бета-сплавы	Z	ковка/прокат/ холодная вытяжка	UT	необработанные	200 HB	1300	0.23
S4.2.Z.AN	4		2		Z		AN	отжиг	320 HB	1400	
S4.3.Z.AN	4		3		Z		AN		330 HB	1400	
S4.3.Z.AG	4		3		Z		AG	старение	375 HB	1400	
S4.4.Z.AN	4		4		Z		AN	отжиг	330 HB	1400	
S4.4.Z.AG	4		4		Z		AG	старение	410 HB	1400	
S5.0.U.NS	3	на основе вольфрама	0	основная группа	U	не указано	NS	не указано	120 HB		
S6.0.U.NS	3	на основе молибдена	0	основная группа	U	не указано	NS	не указано	200 HB		

Жаропрочные сплавы – S 1.0-3.0

Определение

Материалы с высокой коррозионной стойкостью, сохраняющие твёрдость и прочность при высокой температуре. Используются при температуре до 1000°C и закаляются в процессе старения.

- Сплавы на основе никеля наиболее распространены - более 50% объема самолетного двигателя. К дисперсионно-твердеющим материалам относятся: Inconel 718, Waspalloy 706, Udimet 720. К неупрочняемым сплавам относится Inconel 625.
- Сплавы на основе железа появились из аустенитной нержавеющей стали и имеют самую низкую жаропрочность: Inconel 909 Greek Ascolloy и A286.

- Сплавы на основе кобальта имеют наилучшую жаропрочность и стойкость к коррозии и главным образом используются в медицинской промышленности: Haynes 25 (Co49Cr20W15Ni10), Stellite 21, 31.
- Основные легирующие элементы в сплавах HRSA.
Ni: повышает прочность на растяжение.
Co, Mo, W: повышают жаропрочность.
Cr, Si, Mn: повышают стойкость к коррозии.
C: увеличивает зернистость.



Типовые детали

Турбины самолетных двигателей и мощные газовые турбины в отсеках сгорания и турбонадува. Нефте- и газодобыча в море. Имплантанты для медицинской отрасли. Области с высокими требованиями к коррозионной стойкости.

► Жаропрочные сплавы – S 1.0-3.0 - продолжение

Обработываемость

Обработываемость сплавов HRSA ухудшается в следующей последовательности: сплавы на основе железа, никеля и затем кобальта. Все материалы обладают высокой жаропрочностью и при резании дают сегментную стружку, при этом создаются высокие динамические усилия резания.

Из-за низкой теплопроводности и высокой твёрдости во время обработки возникают высокие температуры. Высокая прочность, механическое и адгезионное упрочнение вызывают образование проточин на максимальной глубине резания и крайне абразивную среду для режущей кромки.

Твёрдые сплавы должны обеспечивать высокую прочность кромок и хорошую адгезию покрытия с основой,

чтобы противостоять пластической деформации. В целом, следует использовать пластины с большим углом охвата (круглые пластины) и положительной геометрией. При точении и фрезеровании можно использовать керамические сплавы, в зависимости от условий обработки.

Титан – S 4.1-4.4

Определение

Сплавы на основе титана можно разделить на 4 подгруппы в зависимости от структуры и состава легирующих элементов.

- Необработанный, технически чистый титан.
- Альфа-сплавы – с добавлением Al, O и/или N.
- Бета-сплавы – с добавлением Mb, Fe, V, Cr и/или Mn.
- Смешанные сплавы альфа+бета, в которых присутствуют оба класса.

Смешанные сплавы альфа+бета типа Ti-6Al-4V составляют большинство используемых сегодня титановых сплавов, главным образом, в аэрокосмической промышленности, а также в областях общего машиностроения. Титан имеет большое отношение прочности к массе и превосходную стойкость к коррозии при плотности, составляющей 60% от плотности стали. Это позволяет выполнять стенки конструкций более тонкими.



Типовые детали

Титан может эксплуатироваться в крайне агрессивных средах, где большинство конструкционных материалов пострадало бы от воздействия коррозии. Это становится возможным благодаря пленке оксида титана, TiO₂, покрывающей поверхность металла слоем толщиной 0,01 мм и имеющей высокую стойкость к агрессивным воздействиям. Если оксидный слой будет поврежден, то при доступе кислорода титан сразу же восстановит оксид. Подходит для теплообменников, камер обессоливания, деталей реактивных двигателей, деталей самолетных шасси, элементов корпуса самолета.

Обработываемость

Обработываемость титановых сплавов ниже по сравнению с конструкционными и нержавеющими сталями, что предъявляет особые требования к режущим инструментам. У титана плохая теплопроводность; прочность сохраняется при высокой температуре, что требует большого режущего усилия и вызывает сильный нагрев режущей кромки. Тонкая, склонная к пластической деформации стружка создает область тесного контакта на передней поверхности режущего инструмента, при этом возникают концентрированные режущие усилия рядом с режущей кромкой. При слишком высокой скорости резания возникает химическая реакция между стружкой и материалом режущего инструмента, что может привести к внезапному появлению сколов и поломке пластины. Материалы для режущих инструментов должны иметь высокую твёрдость при высокой температуре, низкое содержание кобальта и быть химически нейтральными по отношению к титану. Обычно для обработки титановых сплавов используется мелкозернистый карбид без покрытия. Выберите положительную/открытую геометрию с высокой прочностью кромок.

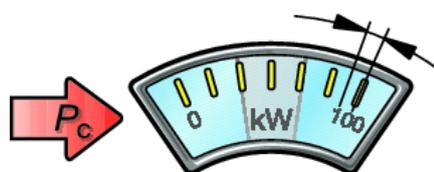
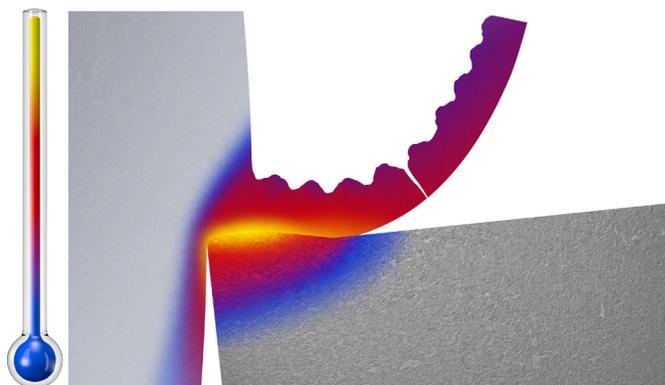
H Закалённая сталь

Определение

- К этой группе материалов относятся закалённые сорта стали твёрдостью >45 – 68 HRC.
- Наиболее распространены цементируемая сталь (~60 HRC), подшипниковая сталь (~60 HRC) и инструментальная сталь (~68 HRC). Также к этой группе относятся высокопрочные чугуны - белый (~50 HRC) и ADI/Куменит (~40 HRC). В эту группу входят также конструкционная сталь (40–45 HRC), марганцевая сталь, стеллит, сталь, полученная порошковой металлургией.
- Обычно токарная обработка твёрдых деталей попадает в диапазон 55 – 68 HRC.

Обрабатываемость

- Закалённые стали реже других подвергаются механообработке и наиболее распространённым её видом являются чистовые операции. Удельная сила резания: 2550 – 4870 Н/мм². Обработка, как правило, сопровождается удовлетворительным отводом стружки. Силы резания и мощность, затрачиваемая на резание, довольно высоки.
- Материал режущего инструмента должен иметь высокую стойкость к пластической деформации (сохранять твёрдость при высокой температуре), высокую химическую стойкость (при высокой температуре), механическую прочность и стойкость к абразивному износу. Всеми вышеперечисленными свойствами обладает кубический нитрид бора, применение которого позволяет заменить шлифование токарной обработкой.



- При точении также используется смешанная или армированная керамика, когда к заготовке нет повышенных требований по качеству обработанной поверхности, твёрдость материала слишком высока для твердого сплава.
- Твёрдый сплав преобладает на операциях фрезерования и сверления и применяется при твёрдости до 60 HRC.

Типовые детали

Передачные валы, корпуса КПП, рулевые шестерни, штампы.



Более подробная информация по обработке материалов ISO H приведена в разделах “Точение”, с. А 40, “Отрезка и обработка канавок”, с. В 9, “Фрезерование”, с. D 41 и “Сверление”, с. E 17.

Коды MC для закалённой стали

Код MC	Группа обрабатываемого материала	Подгруппа обрабатываемого материала	Метод получения	Термическая обработка	Твёрдость	Удельная сила резания, k_{c1} (Н/мм²)	m_c				
H1.1.Z.HA	1 сталь (супертвёрдая)	1	твёрдость 50	Z	ковка/прокат/ холодная вытяжка	НА	закалка (+отпуск)	50 HRC	3090	0.25	
H1.2.Z.HA		2	твёрдость 55	Z				55 HRC	3690	0.25	
H1.3.Z.HA		3	твёрдость 60	Z				60 HRC	4330	0.25	
H1.4.Z.HA		4	твёрдость 63	Z				63 HRC	4750	0.25	
H2.0.C.UT	2	отбелённый чугун	0	основная группа	C	литьё	UT	необработанная	55 HRC	3450	0.28
H3.0.C.UT	3	отбелённый чугун	0	основная группа	C	литьё	UT	не указано	40 HRC		
H4.0.S.AN	4	отбелённый чугун	0	основная группа	S	спекание	AN	отжиг	67 HRC		

Обрабатываемость

Точение

В

Отрезка и обработка канавок

С

Нарезание резьбы

Д

Фрезерование

Е

Сверление

Ф

Растачивание

Г

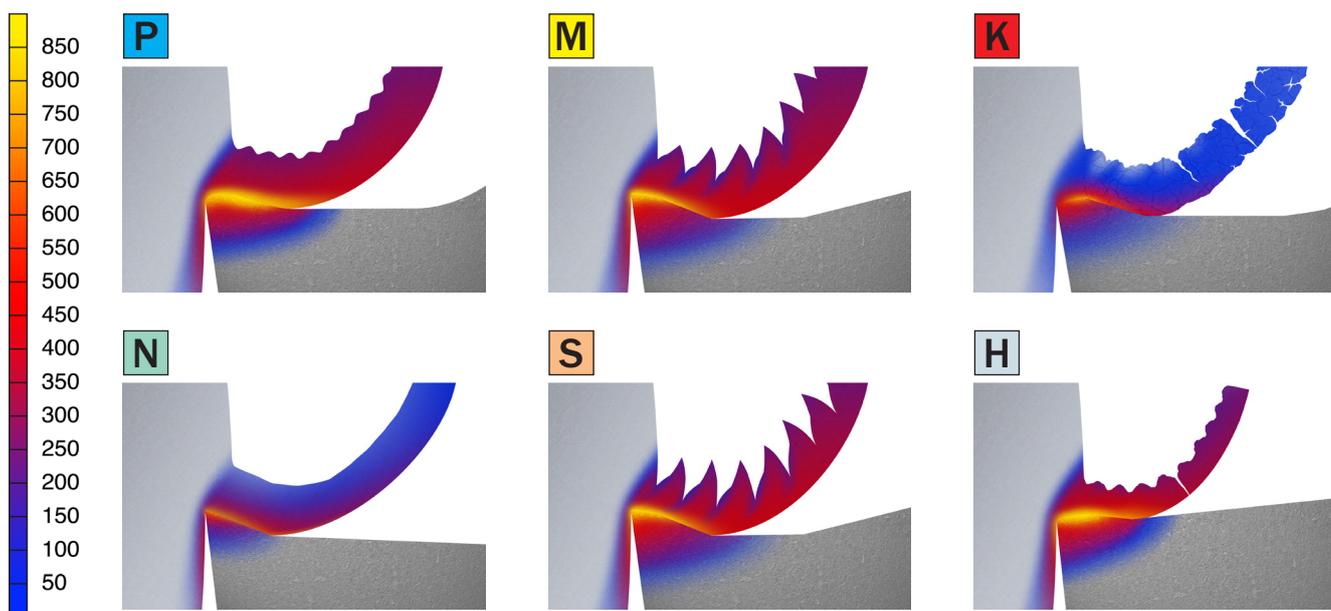
Инструментальная оснастка

Н

Материалы

И

Информация/Указатель



Поперечное сечение пластины из твёрдого сплава при обработке стали. Температура в градусах по Цельсию.

На обрабатываемость материала влияет три основных фактора.

1. Классификация обрабатываемого материала с точки зрения металлургии/ механики.
2. Микро- и макро геометрия режущей кромки.
3. Материал режущего инструмента (марка сплава), например, твёрдый сплав с покрытием, керамика, CBN, PCD и пр.

Сочетание этих параметров будет иметь огромное влияние на обрабатываемость заготовки. К второстепенным факторам относятся: параметры резания, режущие усилия, термическая обработка материала, состояние поверхностного слоя, включения в материале, закрепление инструмента и условия обработки в целом.

Обрабатываемость не имеет четкого определения, ее нельзя выразить, к примеру, цифрами. В широком смысле слова она определяет способность материала заготовки быть обработанным, виды износа, сопровождающие процесс резания, и характер стружкообразования. Опираясь этими категориями, можно сказать, что низколегированная углеродистая сталь обрабатывается проще по сравнению с более требовательной аустенитной нержавеющей сталью. Считается, что низколегированная сталь обрабатывается лучше, чем нержавеющая сталь. Понятие “хорошая обрабатываемость” обычно означает беспрепятственное резание и предсказуемую стойкость инструмента. В большинстве случаев обрабатываемость того или иного материала оценивается в практических испытаниях, а результаты фиксируются относительно результатов испытаний других материалов приблизительно в тех же условиях. В этих испытаниях учитываются и другие факторы - микроструктура, склонность к наростообразованию, состояние станка, стабильность условий, уровень шума, срок службы инструмента и пр.



Обрабатываемые материалы

ISO	MC	CMC	Страна											
			Европа	Германия	Великобритания	Швеция	США	Франция	Италия	Испания	Япония			
			Стандарт											
			DIN EN	W-nr	BS	EN	SS	AISI/SAE/ASTM	AFNOR	UNI	UNE	JIS		
P	Нелегированная сталь													
	P1.1.Z.AN	01.1	S235JR G2	1.0038		4360 40 C	1311	A570.36	E 24-2 Ne				STKM 12A:C	
	P1.1.Z.AN	01.1	S235J2 G3	1.0116		4360 40 B	1312	A573-81 65	E 24-U	Fe37-3				
	P1.1.Z.AN	01.1	C15	1.0401		080M15	1350	1015	CC12	C15C16	F.111			
	P1.1.Z.AN	01.1	C22	1.0402		050A20	1450	1020	CC20	C20C21	F.112			
	P1.1.Z.AN	01.1	C15E	1.1141		080M15	32C	1370	1015	XC12	C16	C15K	S15C	
	P1.1.Z.AN	01.1	C25E	1.1158					1025				S25C	
	P1.1.Z.AN	01.1	S380N	1.8900		4360 55 E	2145	A572-60			FeE390KG			
	P1.1.Z.AN	01.1	17MnV7	1.0870		4360 55 E	2142	A572-60	NFA 35-501 E 36					
	P1.1.Z.AN	02.1	55Si7	1.0904		250A53	45	2085	9255	55S7	55Si8	56Si7		
	P1.1.Z.AN	02.2						2090	9255	55S7				
	P1.2.Z.AN	01.2	C35	1.0501		060A35		1550	1035	CC35	C35	F.113		
	P1.2.Z.AN	01.2	C45	1.0503		080M46		1650	1045	CC45	C45	F.114		
	P1.2.Z.AN	01.2	40Mn4	1.1157		150M36	15		1039	35M5				
	P1.2.Z.AN	01.2	36Mn5	1.1167				2120	1335	40M5		36Mn5	SMn438(H)	
	P1.2.Z.AN	01.2	28Mn6	1.1170		150M28	14A		1330	20M5	C28Mn		SCMn1	
	P1.2.Z.AN	01.2	C35G	1.1183		060A35		1572	1035	XC38TS	C36		S35C	
	P1.2.Z.AN	01.2	C45E	1.1191		080M46		1672	1045	XC42	C45	C45K	S45C	
	P1.2.Z.AN	01.2	C53G	1.1213		060A52		1674	1050	XC48TS	C53		S50C	
	P1.2.Z.AN	01.3	C55	1.0535		070M55		1655	1055		C55			
	P1.2.Z.AN	01.3	C55E	1.1203		070M55			1055	XC55	C50	C55K	S55C	
	P1.2.Z.AN	02.1	S275J2G3	1.0144		4360 43C		1412	A573-81	E 28-3			SM 400A;B;C	
	P1.2.Z.AN	02.1	S355J2G3+C2	1.0570		4360 50B		2132		E36-3	Fe52BFN/Fe52CFN		SM490A;B;C;YA;YB	
	P1.2.Z.AN	02.1	S355J2G3	1.0841		150 M 19		2172	5120	20 MC 5	Fe52	F-431		
	P1.3.Z.AN	01.3	C60E	1.0601		080A62	43D		1060	CC55	C60			
	P1.3.Z.AN	01.3	C60E	1.1221		080A62	43D	1678	1060	XC60	C60		S58C	
	P1.3.Z.AN	01.4	C101E	1.1274		060 A 96		1870	1095	XC 100		F-5117		
	P1.3.Z.AN	01.4	C101u	1.1545		BW 1A		1880	W 1	Y105	C36KU	F5118	SK 3	
	P1.3.Z.AN	01.4	C105W1			BW2		2900	W120	Y120	C120KU	F515	SUP4	
	P1.3.Z.AN	02.1	S340 MGC	1.0961					9262	60SC7	60SiCr8	60SiCr8		
	P1.4.Z.AN	01.1	11SMn30	1.0715		230M07		1912	1213	S250	CF9SMn28	11SMn28	SUM22	
	P1.4.Z.AN	01.1	11SMnPb30	1.0718				1914	12L13	S250Pb	CF9SMnPb28	11SMnPb28	SUM22L	
	P1.4.Z.AN	01.1	10SPb20	1.0722						10PbF2	CF10SPb20	10SPb20		
	P1.4.Z.AN	01.1	11SMn37	1.0736		240M07	1B		1215	S 300	CF9SMn36	12SMn35		
	P1.4.Z.AN	01.1	11SMnPb37	1.0737				1926	12L14	S300Pb	CF9SMnPb36	12SMnPb35		
	P1.4.Z.AN	01.2	35S20	1.0726		212M36	8M	1957	1140	35MF4		F210G		
	P1.5.C.UT	01.1	GC16E	1.1142		030A04	1A	1325	1115					
	Сталь	Низколегированная сталь												
		P2.1.Z.AN	02.1	16Mo3	1.5415		1501-240	2912	A204GrA	15D3	16Mo3KW	16Mo3		
		P2.1.Z.AN	02.1	14Ni6	1.5622				A350LF5	16N6	14Ni6	15Ni6		
		P2.1.Z.AN	02.1	21NiCrMo2	1.6523		805M20	362	8620	20NCD2	20NiCrMo2	20NiCrMo2		SNCM220(H)
		P2.1.Z.AN	02.1	17CrNiMo6	1.6587		820A16			18NCD6		14NiCrMo13		
		P2.1.Z.AN	02.1	15Cr3	1.7015		523M15			5015	12C3			SCr415(H)
		P2.1.Z.AN	02.1	55Cr3	1.7176		527A60	48		5155	55C3			SUP9(A)
		P2.1.Z.AN	02.1	15CrMo5	1.7262				2216		12CD4		12CrMo4	SCM415(H)
		P2.1.Z.AN	02.1	13CrMo4-5	1.7335		1501-620Gr27			A182 F11;F12	15CD3.5	14CrMo4 5	14CrMo45	
		P2.1.Z.AN	02.1	10CrMo9 10	1.7380		1501-622 Gr31;45		2218	A182 F22	12CD9, 10	12CrMo9, 10	TU.H	
		P2.1.Z.AN	02.1	14MoV6 3	1.7715		1503-660-440						13MoCrV6	
		P2.1.Z.AN	02.1	50CoMo4	1.7228		823M30	33				653M31		
		P2.1.Z.AN	02.2	14NiCr10	1.5732					3415	14NC11	16NiCr11	15NiCr11	SNC415(H)
		P2.1.Z.AN	02.2	14NiCr14	1.5752		655M13; A12	36A		3415;3310	12NC15			SNC815(H)
		P2.1.Z.AN	02.1/02.2	16MnCr5	1.7131		(527M20)		2511	5115	16MC5	16MnCr5	16MnCr5	
		P2.1.Z.AN	02.1/02.2	34CrMo4	1.7220		708A37	19B	2234	4137;4135	35CD4	35CrMo4	34CrMo4	SCM432;SCCRM3
P2.1.Z.AN		02.1/02.2	41CrMo4	1.7223		708M40	19A	2244	4140;4142	42CD4TS	41CrMo4	42CrMo4	SCM 440	
P2.1.Z.AN		02.1/02.2	42CrMo4	1.7225		708M40	19A	2244	4140	42CD4	42CrMo4	42CrMo4	SCM440(H)	
P2.1.Z.AN		03.11	14NiCrMo134	1.6657		832M13	36C			42CD4	15NiCrMo13	14NiCrMo131		
P2.2.Z.AN		02.1	31CrMo12	1.8515		722 M 24		2240		30 CD 12	30CrMo12	F-1712		
P2.2.Z.AN		02.1	39CrMoV13 9	1.8523		897M39	40C				36CrMoV12			
P2.2.Z.AN		02.1	41CrS4	1.7039		524A14		2092		L1	105WCR 5			
P2.2.Z.AN		02.1	50NiCr13	1.2721				2550		L6	55NCRV6		F-528	
P2.2.Z.AN		03.11	45WCrV7	1.2542		BS1		2710		S1			45WCrSi8	
P2.2.Z.AN/P2.5.Z.HT		02.1/02.2	36CrNiMo4	1.6511		816M40	110		9840	40NCD3	38NiCrMo4(KB)	35NiCrMo4		
P2.2.Z.AN/P2.5.Z.HT		02.1/02.2	34CrNiMo6	1.6582		817M40	24	2541	4340	35NCD6	35NiCrMo6(KB)			
P2.2.Z.AN/P2.5.Z.HT		02.1/02.2	34Cr4	1.7033		530A32	18B		5132	32C4	34Cr4(KB)	35Cr4	SCr430(H)	
P2.2.Z.AN/P2.5.Z.HT		02.1/02.2	41Cr4	1.7035		530A40	18		5140	42C4	41Cr4	42Cr4	SCr440(H)	
P2.2.Z.AN/P2.5.Z.HT		02.1/02.2	32CrMo12	1.7361		722M24	40B	2240		30CD12	32CrMo12	F.124.A		
P2.2.Z.AN/P2.5.Z.HT		02.1/02.2	51CrV4	1.8159		735A50	47	2230	6150	50CV4	50CrV4	51CrV4	SUP10	
P2.2.Z.AN/P2.5.Z.HT		02.1/02.2	41CrAlMo7	1.8509		905M39	41B	2940		40CAD6, 12	41CrAlMo7	41CrAlMo7		
P2.3.Z.AN		02.1	100Cr6	1.3505		534A99	31	2258	52100	100C6	100Cr6	F.131	SUJ2	
P2.3.Z.AN/H1.2.Z.HA		02.1/02.2	105WC6	1.2419				2140		105WC13	10WCr6	105WCr5	SKS31	
P2.3.Z.AN/H1.2.Z.HA													SKS2, SKS3	
P2.3.Z.AN/H1.2.Z.HA		02.1/02.2		1.2714					L6	55NCDV7		F.520.S	SKT4	
P2.3.Z.AN/H1.3.Z.HA		02.1/02.2	100Cr6	1.2067		BL3			L3	Y100C6		100Cr6		



ISO	MC	СМС	Страна										
			Европа	Германия	Великобритания	Швеция	США	Франция	Италия	Испания	Япония		
			Стандарт										
			DIN EN	W.-nr	BS	EN	SS	AISI/SAE/ASTM	AFNOR	UNI	UNE	JIS	
P	P2.4.Z.AN	02.1	16MnCr5	1.7139	-	-	2127	-	-	-	-	-	
	P2.5.Z.HT	02.1	16Mo5	1.5423	1503-245-420	-	-	4520	-	16Mo5	16Mo5	-	
	P2.5.Z.HT	02.1	40NiCrMo8-4	1.6562	311-Type 7	-	-	8740	-	40NiCrMo2(KB)	40NiCrMo2	SNCM240	
	P2.5.Z.HT	02.1	42Cr4	1.7045	-	-	2245	5140	-	-	42Cr4	SCr440	
	P2.5.Z.HT	02.1	31NiCrMo14	1.5755	830 M 31	-	2534	-	-	-	F-1270	-	
	P2.5.Z.HT	02.2	36NiCr6	1.5710	640A35	111A	-	-	3135	35N06	-	SNC236	
	P2.6.C.UT	02.1	22Mo4	1.5419	605A32	-	2108	8620	-	-	F520.S	-	
	P2.6.C.UT	02.1/02.2	25CrMo4	1.7218	1717CDS110	-	2225	4130	-	25CD4	AM26CrMo4	SCM420;SCM430	
	P2.6.C.UT	06.2	-	-	-	-	2223	-	-	-	-	-	
	Высоколегированная сталь												
	P3.0.Z.AN	03.11	X210Cr12	1.2080	BD3	-	-	-	D3	Z200C12	X210Cr13KU X250Cr12KU	X210Cr12	SKD1
	P3.0.Z.AN	03.11	X43Cr13	1.2083	-	-	-	2314	-	-	-	-	-
	P3.0.Z.AN	03.11	X40CrMoV5 1	1.2344	BH13	-	-	2242	H13	Z40CDV5	X35CrMoV05KU X40CrMoV511KU	X40CrMoV5	SKD61
	P3.0.Z.AN	03.11	X100CrMoV5 1	1.2363	BA2	-	-	2260	A2	Z100CDV5	X100CrMoV51KU	X100CrMoV5	SKD12
	P3.0.Z.AN	03.11	X210CrW12	1.2436	-	-	-	2312	-	-	X215CrW12 1KU	X210CrW12	SKD2
	P3.0.Z.AN	03.11	X30WCrV9 3	1.2581	BH21	-	-	-	H21	Z30WCV9	X28W09KU X30WCrV9 3KU	X30WCrV9	SKD5
	P3.0.Z.AN	03.11	X165CrMoV 12	1.2601	-	-	-	2310	-	-	X165CrMoV12KU	X160CrMoV12	-
	P3.0.Z.AN	03.21	X155CrMoV12-1	1.2379	-	-	-	2736	HNV3	-	-	-	-
	P3.0.Z.HT	03.11	X8Ni9	1.5662	1501-509;510	-	-	-	ASTM A353	-	X10Ni9	XBNi09	-
P3.0.Z.HT	03.11	12Ni19	1.5680	-	-	-	-	2515	Z18N5	-	-	-	
P3.1.Z.AN	03.11	S6-5-2	1.3343	4959BA2	-	-	2715	D3	Z40CSD10	15NiCrMo13	-	SUH3	
P3.1.Z.AN	03.13	-	-	BM 2	-	-	2722	M 2	Z85WDCV	HS 6-5-2-2	F-5603.	SKH 51	
P3.1.Z.AN	03.13	HS 6-5-2-5	1.3243	BM 35	-	-	2723	M 35	6-5-2-5	HS 6-5-2-5	F-5613	SKH 55	
P3.1.Z.AN	03.13	HS 2-9-2	1.3348	-	-	-	2782	M 7	-	HS 2-9-2	F-5607	-	
P3.2.C.AQ	06.33	G-X120Mn12	1.3401	Z120M12	-	-	2183	L3	Z120M12	XG120Mn12	X120Mn12	SCMnH/1	
Нержавеющая сталь, ферритная/мартенситная													
P5.0.Z.AN	05.11/15.11	X10CrAl13	1.4724	403S17	-	-	-	405	Z10C13	X10CrAl12	F311	SUS405	
P5.0.Z.AN	05.11/15.11	X10CrAl18	1.4742	430S15	60	-	-	430	Z10CAS18	X8Cr17	F3113	SUS430	
P5.0.Z.AN	05.11/15.11	X10CrAl2-4	1.4762	-	-	-	2322	446	Z10CAS24	X16Cr26	-	SUH446	
P5.0.Z.AN	05.11/15.11	X1CrMoTi18-2	1.4521	-	-	-	2326	S44400	-	-	-	-	
P5.0.Z.AN/P5.0.Z.HT	05.11/15.11	X6Cr13	1.4000	403S17	-	-	2301	403	Z6C13	X6Cr13	F3110	SUS403	
P5.0.Z.AN/P5.0.Z.HT		X7Cr14	1.4001	-	-	-	-	-	-	-	F8401	-	
P5.0.Z.AN/P5.0.Z.HT	05.11/15.11	X10Cr13	1.4006	410S21	56A	2302	410	410	Z10C14	X12Cr13	F3401	SUS410	
P5.0.Z.AN/P5.0.Z.HT	05.11/15.11	X6Cr17	1.4016	430S15	960	2320	430	430	Z8C17	X8Cr17	F3113	SUS430	
P5.0.Z.AN/P5.0.Z.HT	05.11/15.11	X6CrAl13	1.4002	405S17	-	-	405	405	Z8CA12	X6CrAl13	-	-	
P5.0.Z.AN/P5.0.Z.HT	05.11/15.11	X20Cr13	1.4021	420S37	-	2303	420	420	Z20C13	X20Cr13	-	-	
P5.0.Z.AN/P5.0.Z.HT	05.11/15.11	X6CrMo17-1	1.4113	434S17	-	2325	434	434	Z8CD17.01	X8CrMo17	-	SUS434	
P5.0.Z.HT	03.11	X45CrS9-3-1	1.4718	401S45	52	-	-	HW3	Z45CS9	X45CrSi8	F322	SUH1	
P5.0.Z.HT	05.11/15.11	X85CrMoV18-2	1.4748	443S65	59	-	-	HNV6	Z80CSN20.02	X80CrSiNi20	F320B	SUH4	
P5.0.Z.HT	05.11/15.11	X20CrMoV12-1	1.4922	-	-	2317	-	-	-	X20CrMoNi 12 01	-	-	
P5.0.Z.PH	05.11/15.11	X12CrS13	1.4005	416 S 21	-	2380	416	416	Z11CF13	X12 CrS 13	F3411	SUS 416	
P5.0.Z.PH	05.11/15.11	X46Cr13	1.4034	420S45	56D	2304	420	420	Z40CM	X40Cr14	F3405	SUS420J2	
P5.0.Z.PH	05.11/15.11	X19CrNi17-2	1.4057	431S29	57	2321	431	431	Z15CNi6.02	X16CrNi16	F3427	SUS431	
P5.0.Z.PH	05.12/15.12	X5CrNiCuNb16-4	1.4542 1.4548	-	-	-	630	630	Z7CNU17-04	-	-	-	
P5.0.Z.PH	15.21	X4 CrNiMo16-5	1.4418	-	-	2387	-	-	Z6CND16-04-01	-	-	-	
P5.1.Z.AN/P5.0.Z.HT	05.11/15.11	X14CrMoS17	1.4104	-	-	2383	430F	430F	Z10CF17	X10CrS17	F3117	SUS430F	
P2.1.Z.AN	02.1			1.0045	Торговые марки OVAKO 520M (Ovako Steel) FORMAX (Uddeholm Tooling) IMACRO NIT (Imatra Steel) INEXA 482 (XM) (Inexa Profil) S355J2G3(XM) C45(XM) 16MnCrS5(XM) INEXA280(XM) 070M20(XM) HARDOX 500 (SSAB – Swedish Steel Corp.) WELDOX 700 (SSAB – Swedish Steel Corp.)								
P2.2.Z.AN	02.1												
P2.2.Z.AN	02.1												
P2.5.Z.HT	02.2												
P1.2.Z.AN													
P1.2.Z.AN													
P2.5.Z.HT													
P2.5.Z.HT	02.2												
P2.5.Z.HT	02.2												

Точение
Отрезка и обработка канавок
Нарезание резьбы
Фрезерование
Сверление
Растачивание
Инструментальная осястка
Материалы
Информация/Указатель

ISO	МС	СМС	Страна											
			Европа	Германия	Великобритания	Швеция	США	Франция	Италия	Испания	Япония			
			Стандарт											
			DIN EN	W.-nr	BS	EN	SS	AISI/SAE/ASTM	AFNOR	UNI	UNE	JIS		
M	Аустенитная нержавеющая сталь													
	M1.0.Z.AQ	05.11/15.11	X3CrNiMo13-4	1.4313		425C11	-	2385	CA6-NM	Z4CND13.4M Z38C13M	(G)X6CrNi304	-	SCS5	
	M1.0.Z.AQ	05.11/15.11	X53CrMnNiN21-9	1.4871		349S54	-	-	EV8	Z52CMN21.09	X53CrMnNiN21 9	-	SUH35, SUH36	
	M1.0.Z.AQ	05.21/15.21	X2CrNiN18-10	1.4311		304S62	-	2371	304LN	Z2CN18.10	-	-	SUS304LN	
	M1.0.Z.AQ	05.21/15.21	X2CrNiMoN17-13-3	1.4429		-	-	2375	316LN	Z2CND17.13	-	-	SUS316LN	
	M1.0.Z.AQ	05.21/15.21	X2CrNiMo17-12-2	1.4404		316S13	-	2348	316L	Z2CND17-12	X2CrNiMo1712	-	-	
	M1.0.Z.AQ	05.21/15.21	X2CrNiMo18-14-3	1.4435		316S13	-	2353	316L	Z2CND17-12	X2CrNiMo17 12	-	-	SCS16, SUS316L
	M1.0.Z.AQ	05.21/15.21	X3CrNiMo17-3-3	1.4436		316S33	-	2343, 2347	316	Z6CND18-12-03	X8CrNiMo1713	-	-	
	M1.0.Z.AQ	05.21/15.21	X2CrNiMo18-15-4	1.4438		317S12	-	2367	317L	Z2CND19.15	X2CrNiMo18 16	-	-	SUS317L
	M1.0.Z.AQ	05.21/15.21	X6CrNiNb18-10	1.4550		347S17	58F	2338	347	Z6CND18.10	X6CrNiNb18 11	F.3552 F.3524	-	SUS347
	M1.0.Z.AQ	05.21/15.21	X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571		320S17	58J	2350	316Ti	Z6NDT17.12	X6CrNiMoTi17 12	F.3535	-	-
	M1.0.Z.AQ	05.21/15.21	X10CrNiMoNb 18-12	1.4583		-	-	-	318	Z6CNDNb17 13B	X6CrNiMoNb17 13	-	-	-
	M1.0.Z.AQ	05.21/15.21	X15CrNiSi20-12	1.4828		309S24	-	-	309	Z15CNS20.12	-	-	-	SUH309
	M1.0.Z.AQ	05.21/15.21	X2CrNiMoN17-11-2	1.4406		301S21	58C	2370	308	Z1NCNDU25.20	-	F.8414	-	SCS17
	M1.0.Z.AQ	05.23/15.23	X1CNiMoCuN20-18-7	1.4547		-	-	2378	S31254	Z1CNDU20-18-06AZ	-	-	-	-
	M1.0.Z.PH	05.21/15.21	X9CrNi18-8	1.4310		-	-	2331	301	Z12CN17.07	X12CrNi17 07	F.3517	-	SUS301
	M1.0.Z.PH	05.22/15.22	X7CrNiAl17-7	1.4568 1.4504		316S111	-	-	17-7PH	Z8CNA17-07	X2CrNiMo1712	-	-	-
	M1.1.Z.AQ	05.21/15.21	X2CrNi19-11	1.4306		304S12	-	2352	304L	Z2CN18-10	X2CrNi18 11	-	-	-
	M1.1.Z.AQ	05.21/15.21				304S31	58E	2332, 2333	304	Z6CN18.09	X5CrNi18 10	F.3504 F.3541	-	SUS304
	M1.1.Z.AQ	05.21/15.21	X5CrNi18-10	1.4301		304S15	58E	2332	304	Z6CN18.09	X5CrNi18 10	F.3551	-	SUS304
	M1.1.Z.AQ	05.21/15.21	X5CrNiMo17-2-2	1.4401		316S16	58J	2347	316	Z6CND17.11	X5CrNiMo17 12	F.3543	-	SUS316
	M1.1.Z.AQ	05.21/15.21	X6CrNiTi18-10	1.4541		321S12	58B	2337	321	Z6CNT18.10	X6CrNiTi18 11	F.3553 F.3523	-	SUS321
	M1.2.Z.AQ	05.21/15.21	X8CrNiSi18-9	1.4305		303S21	58M	2346	303	Z10CNF 18.09	X10CrNiSi 18.09	F.3508	-	SUS303
	Супераустенитная нержавеющая сталь (Ni > 20%)													
	M2.0.C.AQ	20.11	GX40NiCrSi36-18	1.4865		330C11	-	-	-	-	XG50NiCr39 19	-	-	SCH15
	M2.0.Z.AQ	05.21/15.21	X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539		-	-	2562	UNS V 0890A	Z2 NCDU25-20	-	-	-	-
	M2.0.Z.AQ	05.21/15.21	X8CrNi25-21	1.4845		310S24	-	2361	310S	Z12CN25 20	X6CrNi25 20	F.331	-	SUH310
	M2.0.Z.AQ	20.11	X12NiCrSi36 16	1.4864		-	-	-	330	Z12NCS35.16	F-3313	-	-	SUH330
	M2.0.Z.AQ	05.23/15.23	X1NiCrMoCu31-27-4	1.4563		-	-	2584	NO8028	Z1NCDU31-27-03	-	-	-	-
	Дуплексная (аустенитно-ферритная) нержавеющая сталь													
	M3.1.Z.AQ/M3.1.C.AQ	05.51/15.51	X2CrNiN23-4	1.4362		-	-	2376	S31500	-	-	-	-	-
	M3.1.Z.AQ/M3.1.C.AQ	05.51/15.51	X8CrNiMo27-5	-		-	-	2324	S32900	-	-	-	-	-
	M3.2.Z.AQ/M3.2.C.AQ	05.52/15.52	X2CrNiN23-4	-		-	-	2327	S32304	Z2CN23-04AZ	-	-	-	-
	M3.2.Z.AQ/M3.2.C.AQ	05.52/15.52	-	-		-	-	2328	-	-	-	-	-	-
	M3.2.Z.AQ/M3.2.C.AQ	05.52/15.52	X2CrNiMoN22-53	-		-	-	2377	S31803	Z2CND22-05-03	-	-	-	-
M1.1.Z.AQ	05.21/15.21				Торговые марки SANMAC 304 (Sandvik Steel) SANMAC 304L (Sandvik Steel) SANMAC 316 (Sandvik Steel) SANMAC 316L (Sandvik Steel) 254 SMO 654 SMO SANMAC SAF 2205 (Sandvik Steel) SANMAC SAF 2507 (Sandvik Steel)									

Точение
Обрезка и обработка канавок
Нарезание резьбы
Фрезерование
Сверление
Расширение
Инструментальная оснастка
Материалы
Информация/Указатель

ISO	МС	СМС	Страна											
			Европа	Германия	Великобритания	Швеция	США	Франция	Италия	Испания	Япония			
			Стандарт											
			DIN EN	W.-nr	BS	EN	SS	AISI/SAE/ASTM	AFNOR	UNI	UNE	JIS		
К	Ковкий чугун													
	K1.1.C.NS	07.1	-				8 290/6	0814		MN 32-8			FCMB310	
	K1.1.C.NS	07.1	EN-GJMB350-10	0.8135			B 340/12	0815	32510	MN 35-10			FCMW330	
	K1.1.C.NS	07.2	EN-GJMB450-6	0.8145			P 440/7	0852	40010	Mn 450	GMN 45		FCMW370	
	K1.1.C.NS	07.2	EN-GJMB550-4	0.8155			P 510/4	0854	50005	MP 50-5	GMN 55		FCMP490	
							P 570/3	0858	70003	MP 60-3			FCMP540	
	K1.1.C.NS	07.2	EN-GJMB650-2	0.8165			P570/3	0856	A220-70003	Mn 650-3	GMN 65	-	FCMP590	
	K1.1.C.NS	07.3	EN-GJMB700-2	0.8170			P690/2	0862	A220-80002	Mn700-2	GMN 70		FCMP690	
	Серый чугун													
	K2.1.C.UT	08.1						0100						
	K2.1.C.UT	08.1	EN-GJL-100	0.6010				0110	No 20 B	Ft 10 D				FC100
	K2.1.C.UT	08.1	EN-GJL-150	0.6015		Grade 150		0115	No 25 B	Ft 15 D	G 15	FG 15		FC150
	K2.1.C.UT	08.1	EN-GJL-200	0.6020		Grade 220		0120	No 30 B	Ft 20 D	G 20			FC200
	K2.1.C.UT	08.2	EN-GJL-250	0.6025		Grade 260		0125	No 35 B	Ft 25 D	G 25	FG 25		FC250
	K2.1.C.UT	08.2	EN-JLZ	0.6040		Grade 400		0140	No 55 B	Ft 40 D				
	K2.2.C.UT	08.2	EN-GJL-300	0.6030		Grade 300		0130	No 45 B	Ft 30 D	G 30	FG 30		FC300
	K2.2.C.UT	08.2	EN-GJL-350	0.6035		Grade 350		0135	No 50 B	Ft 35 D	G 35	FG 35		FC350
	K2.3.C.UT	08.3	GGL-NiCr20-2	0.6660		L-NiCuCr202		0523	A436 Type 2	L-NC 202	-	-		
	Чугун с шаровидным графитом													
	K3.1.C.UT	09.1	EN-GJS-400-15	0.7040		SNG 420/12		0717-02	60-40-18	FCS 400-12	GS 370-17	FGE 38-17		FCD400
	K3.1.C.UT	09.1	EN-GJS-400-18-LT	0.7043		SNG 370/17		0717-12	-	FGS 370-17				
	K3.1.C.UT	09.1	EN-GJS-350-22-LT	0.7033		-		0717-15	-	-				
	K3.1.C.UT	09.1	EN-GJS-800-7	0.7050		SNG 500/7		0727	80-55-06	FGS 500-7	GS 500	FGE 50-7		FCD500
	K3.2.C.UT	09.2	EN-GJS-600-3	0.7060		SNG 600/3		0732-03	-	FGS 600-3				FCD600
	K3.3.C.UT	09.2	EN-GJS-700-2	0.7070		SNG 700/2		0737-01	100-70-03	FGS 700-2	GS 700-2	FGE 70-2		FCD700
	K3.5.C.UT	-	EN-GJSA-XNiCr20-2	0.7660		Grade S6		0776	A43D2	S-NC 202	-	-		
	Чугун с вермикулярным графитом													
K4.1.C.UT	-	EN-GJV-300												
K4.1.C.UT	-	EN-GJV-350												
K4.2.C.UT	-	EN-GJV-400												
K4.2.C.UT	-	EN-GJV-450												
K4.2.C.UT	-	EN-GJV-500												
Отпущенный ковкий чугун														
K5.1.C.NS	-	EN-GJS-800-8						ASTM A897 No. 1						
K5.1.C.NS	-	EN-GJS-1000-5						ASTM A897 No. 2						
K5.2.C.NS	-	EN-GJS-1200-2						ASTM A897 No. 3						
K5.2.C.NS	-	EN-GJS-1400-1						ASTM A897 No. 4						
K5.3.C.NS	-							ASTM A897 No. 5						

ISO	МС	СМС	Страна										
			Европа	Германия	Великобритания	Швеция	США	Франция	Италия	Испания	Япония		
			Стандарт										
			DIN EN	W.-nr	BS	EN	SS	AISI/SAE/ASTM	AFNOR	UNI	UNE	JIS	
N	Сплавы на основе алюминия												
	Цветные металлы	N1.3.C.AG	30.21	G-AISI9MGWA	3.2373			4251	SC64D	A-S7G			C4BS
		N1.3.C.UT	30.21	G-ALMG5		LM5		4252	GD-AISI12	A-SU12			AC4A
		N1.3.C.UT/N1.3.C.AG	30.21/30.22			LM25		4244	356.1				A5052
		N1.3.C.UT		GD-AISI12				4247	A413.0				A6061
		N1.3.C.AG		GD-AISI8Cu3		LM24		4250	A380.1				A7075
		N1.3.C.UT		G-AISI12(Cu)		LM20		4260	A413.1				ADC12
		N1.3.C.UT		G-AISI12		LM6		4261	A413.2				
		N1.3.C.UT		G-AISI10Mg(Cu)		LM9		4253	A360.2				
		S	Сплавы на основе никеля										
Жаропрочные сплавы		S2.0.C.NS	20.22	S-NiCr13A16MoNb	LW2 4670	mar-46	-	-	5391	NC12AD	-	-	
	S2.0.C.NS	20.24	NiCo15Cr10MoAlTi	LW2 4674	-	-	-	AMS 5397	-	-	-		
	S2.0.Z.AG	20.22	NiFe35Cr14MoTi	LW2.4662	-	-	-	5660	ZSNCDT42	-	-		
	S2.0.Z.AG	20.22	NiCr19Fe19NbMo	LW2.4668	HR8	-	-	5383	NC19eNB	-	-		
	S2.0.Z.AG	20.22	NiCr20TiAk	2.4631	Hr401.601	-	-	-	NC20TA	-	-		
	S2.0.Z.AG	20.22	NiCr19Co11MoTi	2.4973	-	-	-	AMS 5399	NC19KDT	-	-		
	S2.0.Z.AG	20.22	NiCr19Fe19NbMo	LW2.4668	-	-	-	AMS 5544	NC20K14	-	-		
	S2.0.Z.AN	20.21	-	2.4603	-	-	-	5390A	NC22FeD	-	-		
	S2.0.Z.AN	20.21	NiCr22Mo9Nb	2.4856	-	-	-	5666	NC22FeDNB	-	-		
	S2.0.Z.AN	20.21	NiCr20Ti	2.4630	HR5.203-4	-	-	-	NC20T	-	-		
	S2.0.Z.AN	20.22	NiCu30AL3Ti	2.4375	3072-76	-	-	4676	-	-	-		
	Сплавы на основе кобальта												
	S3.0.Z.AG	20.32	CoCr20W15Ni CoCr22W14Ni	LW2.4964	-	-	-	5537C, AMS 5772	KC20WN KC22WN	-	-	-	
	Титановые сплавы												
	S4.2.Z.AN	23.22	TiAl5Sn2.5	3.7115.1	TA14/17	-	-	UNS R54520	T-A5E UNS R56400	-	-	-	
S4.2.Z.AN	23.22	TiAl6V4	3.7165.1	TA10-13/TA28	-	-	-	UNS R56401	T-A6V	-	-		
S4.3.Z.AN	23.22	TiAl5V5Mo5Cr3			-	-							
S4.2.Z.AN	23.22	TiAl4Mo4Sn4Si0.5	3.7185		-	-							
Жаропрочные сплавы	S2.0.Z.UT/S2.0.Z.AN	20.11	Торговые марки										
			На основе железа										
			Incoloy 800										
			На основе никеля										
	S2.0.Z.AN	20.2	Haynes 600										
	S2.0.Z.AN	20.2	Nimocast PD16										
	S2.0.Z.AG	20.2	Nimonic PE 13										
	S2.0.Z.AG	20.2	Rene 95										
	S2.0.Z.AN	20.21	Hastelloy C										
	S2.0.Z.AN	20.21	Incoloy 825										
	S2.0.Z.AN	20.21	Inconel 600										
	S2.0.Z.AN	20.21	Monet 400										
	S2.0.Z.AG	20.22	Inconel 700										
	S2.0.Z.AG	20.22	Inconel 718										
	S2.0.Z.AG	20.22	Mar – M 432										
S2.0.Z.AG	20.22	Nimonic 901											
S2.0.Z.AG	20.22	Waspalloy											
S2.0.C.NS	20.24	Jessop G 64											
S3.0.Z.AG	20.3	На основе кобальта											
S3.0.Z.AG	20.3	Air Resist 213											
S3.0.Z.AG	20.3	Jetalloy 209											
H	Материалы высокой твердости												
	Материалы высокой твердости	H1.2.Z.HA	04.1	X100CrMo13	1.4108	-	-	2258 08	440A	-	-	-	C4BS
		H1.3.Z.HA	04.1	X110CrMoV15	1.4111	-	-	2534 05	610	-	-	-	AC4A
		H1.2.Z.HA	04.1	X65CrMo14	-	-	-	2541 06	0-2	-	-	-	AC4A

А
Точение
В
Обрезка и обработка канавок
С
Нарезание резьбы
D
Фрезерование
E
Сверление
F
Расширение
G
Инструментальная оснастка
H
Материалы
I
Информация/Указатель