

Dr. Ing. Heinrich Fuß
Technischer Leiter
SRT SOLIDRESIST
Rohrtechnik GmbH

**DOPELLAGIGE, GEHÄRTETE, VERSCHLEISSFESTE STAHLROHRE
FÜR HYDRAULISCHEN UND PNEUMATISCHEN FESTSTOFFTRANSPORT IM BERGBAU**

Zusammenfassung:

Eine verschleißfeste Rohrleitung für den Feststofftransport soll auf der Innenseite eine Härte von ca. 600 HB haben. Gleichzeitig muß das Rohr außen weich und duktil sein, um dynamischen Beanspruchungen zu widerstehen. Die Lösung für diese Aufgabe ist ein doppelagiges, gehärtetes SOLIDRESIST-600-Rohr. Anhand einiger Konstruktionsbeispiele wird gezeigt, daß SOLIDRESIST-600 nicht nur ein Rohr sondern ein komplettes Rohrleitungssystem mit allem notwendigen Zubehör ist. Abschließend werden einige Einsatzbeispiele aus dem Untertagebergbau gezeigt.

Wenn man Feststoffe in einer Rohrleitung transportiert, ob hydraulisch oder pneumatisch, so kann man den Verschleiß der Leitung verringern, wenn man die Härte der Rohr-Innenseite steigert, d. h., wenn man die Rohre härtet. Es stellt sich die Frage, wie hoch muß die Härte sein, um eine ausreichende Steigerung der Lebensdauer der Rohre zu erreichen. International anerkannte Untersuchungen zeigen uns diese Zusammenhänge.

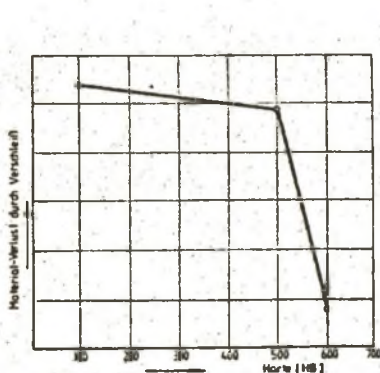


Bild Nr. 1
Material-Verlust durch Verschleiß in Abhängigkeit von der Härte

Bild 1

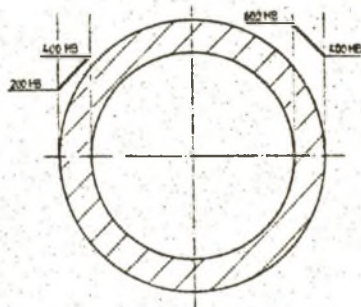


Bild Nr. 2
Härteverlauf in einem doppelwandigen Rohr

Bild 2

Hierzu das erste Bild

Dieses Bild zeigt einen bestimmten Verschleiß bei einer Härte von 100 HB. Die Härte von 100 HB entspricht Normalstahl. Wenn man die Härte bis auf 500 HB steigert, so wird deutlich, daß hierbei der Materialverlust und damit der Verschleiß abnimmt. Die Verbesserung ist zwar eindeutig vorhanden, sie ist jedoch relativ gering. Erst wenn die Härte um weitere 100 HB gesteigert wird und 600 HB erreicht, ist eine starke Verbesserung des Verschleißverhaltens zu verzeichnen. Aus diesem Diagramm ist abzulesen, daß die Standzeit eines Rohres, das eine Härte von ca. 600 HB auf der Innenseite hat, etwa fünf- bis sechsmal so lang ist als die eines Rohres mit 100 HB

Zusammenfassend zu diesem Punkt ist demnach festzuhalten: um eine wirklich spürbare Steigerung der Lebensdauer - von Rohren, die dem Verschleiß ausgesetzt sind - zu erreichen, benötigt man auf der Rohrinneiseite eine Härte von ca. 600 HB. Es wäre auch möglich, durch den Einsatz von legierten Stählen in Verbindung mit dem Vergüten geringe Steigerungen der Lebensdauer gegenüber Normalstahl zu erzielen. Diese Maßnahme ist jedoch teuer und ihr wirtschaftlicher Erfolg steht in keinem Verhältnis zu den aufzuwendenden Kosten.

Das ideale Rohr, das bei Verschleiß - wie z. B. im Bergbau für den hydraulischen oder pneumatischen Versatz eingesetzt werden soll, muß folgende Eigenschaften in sich vereinen:

1. das Rohr muß, wie soeben dargelegt, auf der Innenseite eine Härte von ca. 600 HB besitzen.
2. Da das Rohr jedoch neben der Verschleißbeanspruchung auch schlag- und stoßartigen Innendrücken unterworfen ist und auch von außen bei der Montage schlagartige Beanspruchungen erfährt, muß das Rohr gleichzeitig duktil sein, d. h., es muß außen weich sein, um diese dynamischen Beanspruchungen aufnehmen zu können.
3. Das Rohr muß leicht sein, um es einfach montieren zu können.

Nun zu Bild 2

Wenn man von einem Rohrdurchmesser und einer Wanddicke ausgeht, wie sie im Bergbau üblich ist - wie z. B. von 150 bis 200 mm Durchmesser und von einer Wanddicke von etwa 9 mm - und bringt die Innenseite dieses Rohres auf eine Härte von 600 HB, so ist davon auszugehen, daß die Härte auf der Außenseite bei etwa 400 HB liegen würde. Dieses Rohr hätte zwar die notwendige Härte auf der Innenseite, um einen guten Verschleißwiderstand zu gewährleisten, es wäre jedoch wegen der zu hohen Härte auf der Außenseite zu spröde, um dynamischen Beanspruchungen standzuhalten - es würde bei einer dynamischen Beanspruchung zerbrechen wie ein Glasrohr.

Wenn die Härte andererseits so gesenkt würde, daß außen nur noch 200 HB vorhanden sind, so läge die erzielbare Härte auf der Innenseite bei etwa nur 400 HB. Von diesem Rohr könnte man zwar die notwendige Duktilität erwarten, die Härte auf der Innenseite ist jedoch zu niedrig für ein gutes Verschleißverhalten.

Falls die Wanddicke auf 6 mm zurückgeht - eine Abmessung, die im Bergbau oft eingesetzt wird - sind die Verhältnisse noch krasser, d. h., die Unterschiede zwischen den Härtewerten auf der Innen- und Außenseite sind noch geringer. Wenn man von einer Rohrherstellung im Labor einmal absieht, so ist es in einer industriellen Fertigung nicht möglich, in Rohren mit homogener Wand gleichzeitig eine hohe Härte von 600 HB zu erzielen - wie es für den Verschleißwiderstand notwendig ist - und diese Rohre außerdem duktil zu gestalten, damit sie dynamische Beanspruchungen aufnehmen können.

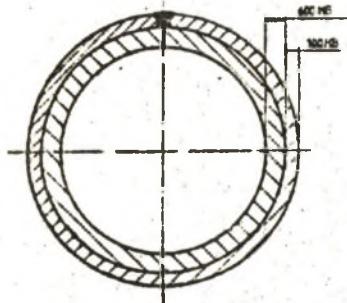


Bild Nr. 3
Verformung des Rohres durch den Verschleiß
S. 10/11/12/13/14/15/16/17/18/19/20/21/22/23/24/25/26/27/28/29/30/31/32/33/34/35/36/37/38/39/40/41/42/43/44/45/46/47/48/49/50/51/52/53/54/55/56/57/58/59/60-Rohr

Bild 3

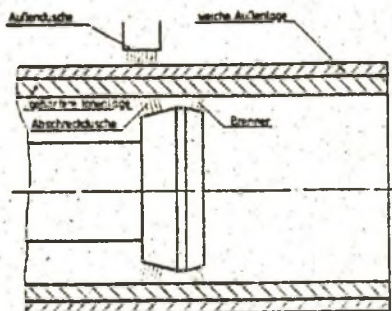


Bild Nr. 4
Erweichung zum Harten von Rohren

Bild 4

Um dem Kriterium - hohe Härte einerseits und Duktilität andererseits - gerecht werden zu können, haben wir die Rohrwand geteilt, wie in Bild Nr. 3 dargestellt. D. h., wir stellen ein Rohr her, dessen Innenseite aus einem härtbaren Werkstoff und dessen Außenschale aus Normalstahl besteht. Normalstahl ist aufgrund seiner chemischen Analyse nicht härtpbar. Wenn dieses doppellagige Rohr einem Härteprozeß unterworfen wird, so entstehen wegen der unterschiedlichen Werkstoffanalysen auf der Innenseite Härtewerte von 600 HB, während die Außenlage weich bleibt. Hierbei ist es also durch die spezielle Rohrkonstruktion möglich, die beiden physikalischen Gegensätze - hohe Härte und Duktilität - in einer relativ dünnen Rohrwand zu vereinigen.

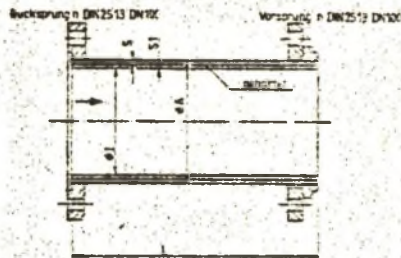
Bild Nr. 4 zeigt die Einrichtung zum Härten von Rohren.

Das Innen- und das Außen-Rohr werden von einem im Rohr befindlichen Brenner erwärmt. Die Energiezufuhr ist so zu bemessen, daß die Innenlage auf Härtetemperatur - also auf ca. 900°C - und die Außenlage auf eine Temperatur von mindestens 650°C, gebracht werden. Anschließend wird das Rohr abgeschreckt. Das Erwärmen mit nachfolgendem Abschrecken ist der Härtetvorgang. Die außen angebrachte Dusche arbeitet flankierend zur innen liegenden Dusche, darüberhinaus wird das Außenrohr durch die zusätzliche Abkühlung zum Schrumpfen gebracht, d. h., das Außenrohr schrumpft auf das Innenrohr. Der bei diesen Rohren stattfindende Härtemechanismus - nämlich die Umwandlung von ferritisch-perlitischem Gefüge in martensitisches, bewirkt eine Volumenzunahme des Innenrohres um etwa 0.2%. Durch das Zusammenwirken der Volumenzunahme des Innenrohres beim Härten und dem gleichzeitigen Schrumpfen des Außenrohres werden beide Rohre fest aufeinander gepreßt und es können kleine Spalte - von, sagen wir, einigen Zehntelmillimetern - überbrückt werden. Hierdurch können jedoch keine Spalte geschlossen werden, die in der Größenordnung von Millimetern liegen. Wenn unter diesen Bedingungen das Innenrohr gehärtet würde, würden Spalte bzw. Hohlstellen zwischen den Lagen bestehen bleiben. An diesen Stellen ist es jedoch nicht mehr möglich, schlagartige, punktförmig angreifende Beanspruchungen vom Innenrohr einwandfrei auf das Außenrohr zu übertragen. In diesen Fällen würde hier das Innenrohr brechen und die doppellagige Rohrkonstruktion wird ihrer Aufgabe nicht mehr gerecht. Bisher wurde vorausgesetzt, daß ein Doppellagenrohr mit Luftspalten zwischen den beiden Lagen härtpbar ist. Das ist jedoch nur bedingt möglich. Wird die Energiezufuhr des Härtebrenners so eingestellt, daß beide Rohrlagen auf die gewünschte Temperatur gebracht werden, so wird das Innenrohr an den Stellen, an denen sich Luftspalte befinden, verbrennen, weil Luft eine gute Isolation gegen Wärme ist und die Wärme vom Innenrohr nur noch verzögert an das Außenrohr weitergegeben werden kann. Wird dagegen die Energiezufuhr so bemessen, daß nur das Innenrohr auf Härtetemperatur gebracht wird, so kann an den Stellen, an denen sich Außen- und Innenrohr berühren, die notwendige Härtetemperatur nicht erreicht werden, weil die Wärme vom Außenrohr aus dem Innenrohr abgezogen wird. Die dabei erreichte Temperatur im Innenrohr ist an den Stellen, an denen sich beide Lagen berühren, zu niedrig und führt nicht mehr zu einer ausreichenden Härte.

Aus dieser Darstellung ist abzuleiten, daß ein über die volle Länge und den ganzen Umfang gleichmäßig gehärtetes Doppellagenrohr bei dem Innen- und Außenlage überall gut aneinander liegen nur hergestellt werden kann, wenn beide Lagen bereits vor dem Härten fest aneinander liegen. Um dieses Ziel mit Sicherheit zu erreichen, legen wir bei der Fertigung des SOLIDRESIST-600-Rohres zwei ebene Bleche aufeinander - von denen eines härtpbar ist und das andere aus Normalstahl besteht. Dieses doppellagige Blech wird dann in einer Presse zum doppellagigen Schlitzrohr geformt und anschließend in einer weiteren Presse zum Rohr geschweißt. Hierbei ist sichergestellt, daß die beiden Lagen überall bereits vor dem Härten aneinander anliegen, so daß ein einwandfreies Härten vorgenommen werden kann.

Die in Bild 3 erkennbare Schweißnaht wird hierbei nach einem speziell entwickelten Unterpulverschweißverfahren maschinell hergestellt. Dabei ist sichergestellt, daß einerseits die beiden Kanten des Außenrohres gut und sicher miteinander verschweißt werden und andererseits der Schweißlichtbogen nicht in die Innenlage eindringt.

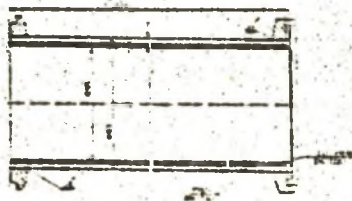
Würde der Schweißlichtbogen in die Innenlage einbrennen, so gelangt einerseits härtpbarer Werkstoff in die Schweißnaht, die hierdurch versprödet, und andererseits wird die Innenlage an der Stoßstelle dünner. Dies bedeutet eine Schwachstelle am Stoß.



| | |
|--|--|
| SFT SOLIDRESIST Industrielle Anlagen Postfach 574 - Garmisch 11 D-8771 SOEST Tel. 0561 - 730 0 - 11 | Zweitgenrohr mit Zentrierbohrung PN10 |
|--|--|

Bild 5.

Die folgenden Bilder zeigen einige Beispiele von Rohren und Rohrzubehör, wie sie für den Untertagebau hergestellt werden.



| | |
|--|--|
| SFT SOLIDRESIST Industrielle Anlagen Postfach 574 - Garmisch 11 D-8771 SOEST Tel. 0561 - 730 0 - 11 | Rohr mit Zentrierbohrung für Schweißbohrungen |
|--|--|

Bild 6.

Bild Nr. 5

Hier ist ein doppellagiges Förderrohr zu erkennen, wie der Bergbau es benötigt. Das Rohr kann natürlich in annähernd jedem beliebigen Wanddickenaufbau hergestellt werden. Die gehärtete Innenlage kann bezüglich ihrer Dicke der vorliegenden Verschleißbeanspruchung angepaßt werden, während die Außenlage auf den auftretenden Innendruck der Leitung eingestellt werden kann. Das hier gezeigte Rohr ist mit selbstzentrierenden Flanschen ausgerüstet, die auf der einen Seite aus Bund mit Vorsprung sowie Losflansch und auf der anderen Seite aus Festflansch mit Rücksprung bestehen. Vorsprung und Rücksprung gewährleisten bei der Montage einen versatzfreien und spaltlosen Einbau.

Bild Nr. 6

Als weiteres Konstruktionsbeispiel ist dieses Rohr mit Bund versehen, die den Einsatz von Schnellspannkupplungen gestattet. Allgemein kann hierzu ausgeführt werden, daß das SOLIDRESIST-600-Rohr mit jedem beliebigen Flansch oder Bund versehen werden kann. Wichtig ist lediglich, daß die gewählte Flansch- und Bundform auf das Rohr aufgeschoben werden kann. Es ist nicht sinnvoll, einen weichen Flansch vor das Rohr zu schweißen, weil die hohe Härte an der Innenseite dann beim Flansch unterbrochen wird und das Rohr hier eine Schwachstelle erhält.

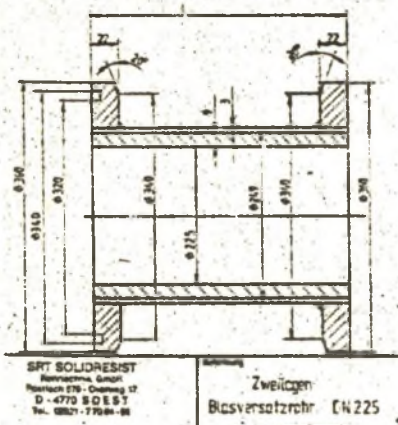


Bild 7

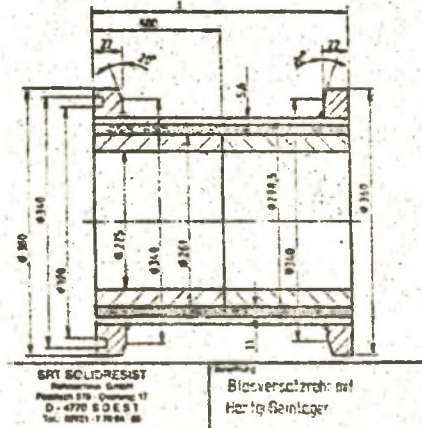


Bild 8

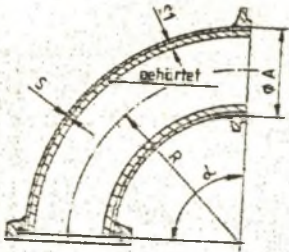
Bild Nr. 7

Als weiteres Konstruktionsbeispiel ist hier ein gehärtetes Blasversatzrohr gezeigt. Der Durchmesser dieses Rohrtyps liegt im allgemeinen bei 225 mm und die Wanddicke bei 5 mm oder 9 mm gehärtet, während der weiche Teil 3 mm dick ist. Andere Wanddicken wären natürlich möglich. Die Rohrenden sind hier mit selbstzentrierenden Bunden versehen, die den Einsatz von Kupplungen vorsehen.

Bild Nr. 8

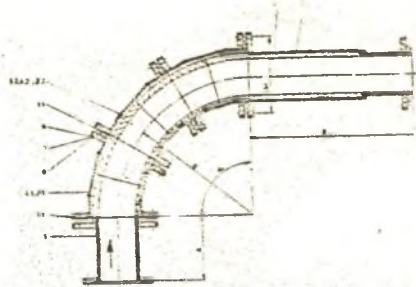
Selbstverständlich kann die gehärtete Innenlage auch durch gegossene Ni-hard-Einlagen ersetzt werden. Dieses typische Blasversatzrohr ist sicher den meisten von Ihnen bekannt und bedarf keiner Erklärung mehr.

In den beiden folgenden Bildern möchte ich Ihnen zwei Bogentypen zeigen, wie sie zur Komplettierung des SOLIDRESIST-600-Systems hergestellt werden.



| | |
|---|----------------------------|
| SRT SOLIDRESIST Rohrtechnik GmbH Postfach 578 · Götting 17 D - 4770 SOEST Tel. 62801 - 7 70 84 - 88 | Bezeichnung Leichtbogen |
|---|----------------------------|

Bild 9



| | |
|---|--|
| SRT SOLIDRESIST Rohrtechnik GmbH Postfach 578 · Götting 17 D - 4770 SOEST Tel. 62801 - 7 70 84 - 88 | Bezeichnung Segmentbogen mit Hartfußeinlagen |
|---|--|

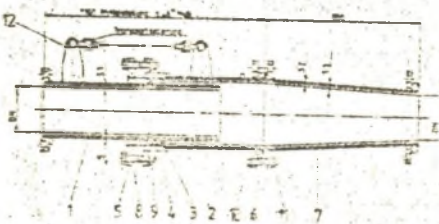
Bild 10

Bild Nr. 9

Hier ist ein sogenannter Leichtkrümmer gezeigt. Er wird aus doppelagigem Rohr oder aus Verbundstahl hergestellt. Sein Vorteil ist sein geringes Gewicht, das auch eine Montage von Hand ohne weitere Hilfsmittel erlaubt.

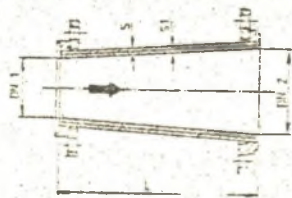
Bild Nr. 10

Der hier gezeigte Einlagensegmentkrümmer ist nicht ohne Hebezug zu montieren. Hervorzuheben ist bei diesem Krümmer die sehr dicke Ni-hard-Einlage und die Tatsache, daß die benötigten Bogen-Winkel erst bei der Montage festgelegt werden müssen. Neben dem eigentlichen Bogenteil ist ein Einlauf- und ein Auslaufteil zu erkennen. Insbesondere der gerade Auslaufteil ist, wie der Bogen, sehr hohem Verschleiß ausgesetzt. Die durch die Ablenkung des Förderstromes entstandenen Turbulenzen müssen sich im Bogenauslauf beruhigen. Deshalb ist auch der Auslauf mit Ni-hard-Einlagen ausgestattet.



| | |
|---|--|
| SRT SOLIDRESIST Rohrtechnik GmbH Postfach 578 · Götting 17 D - 4770 SOEST Tel. 62801 - 7 70 84 - 88 | Bezeichnung Kompensatorrohr mit Übergangsröhre |
|---|--|

Bild Nr. 11



| | |
|---|-------------------------------|
| SRT SOLIDRESIST Rohrtechnik GmbH Postfach 578 · Götting 17 D - 4770 SOEST Tel. 62801 - 7 70 84 - 88 | Bezeichnung Übergangsröhre |
|---|-------------------------------|

Bild Nr. 12

Bild Nr. 11

Als weiteres wichtiges Rohrzubehör möchte ich Ihnen hier ein Kompensatorrohr zeigen. Dieses Rohrzubehör ist notwendig zum Längenausgleich einer Leitung, wie er beispielsweise bei Temperaturschwankungen notwendig wird. Kompensatorrohre werden vor allem in Schachtfalleitungen eingesetzt.

Bild Nr. 12

Konische Übergangrohre werden da eingesetzt, wo der Durchmesser einer Leitung sich verändert. Strömungstechnische Gründe sind meist die Ursache hierzu.

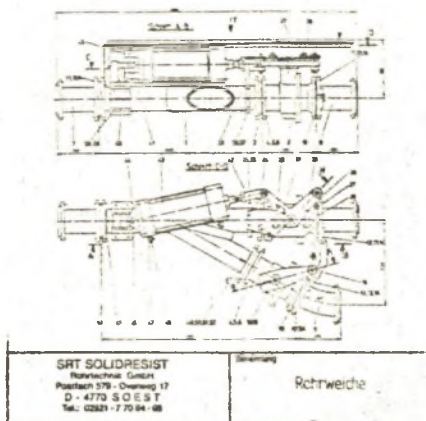


Bild Nr. 13

Bild Nr. 13

Als letztes Rohrzubehör möchte ich Ihnen eine Rohrweiche zeigen. Rohrweichen dieser Art werden elektro-pneumatisch gesteuert. Da gerade dieses Zubehör hohem Verschleiß unterworfen ist, ist es besonders wichtig, daß die Innenseite aus verschleißfestem hartem Material besteht.

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

nach eingehenden Ausführungen über die notwendige Härte von Leitungen, die für den Feststofftransport eingesetzt werden, habe ich versucht, Ihnen die Fertigungsmethoden der SOLIDRESIST-600-Rohre näherzubringen.

An den gezeigten Konstruktionsbeispielen konnten Sie erkennen, daß SOLIDRESIST-600 sowohl für den hydraulischen als auch für den pneumatischen Feststofftransport im Bergbau nicht nur ein verschleißfestes Rohr, sondern ein komplettes, verschleißfestes Rohrleitungssystem darstellt.

Recenzent: Prof. dr hab, inż. Jan PALARSKI

Wpłynęło do Redakcji 1987.03.10

DWUWARSTWOWE, UTWARDZONE, ODPORNE NA ŚCIERANIE RURY STALOWE
DO HYDRAULICZNEGO I PNEUMATYCZNEGO TRANSPORTU CIAŁ STAŁYCH
W GÓRNICTWIE

S t r e s z c z e n i e

Przewód rurociągowy do transportowania ciał stałych powinien od strony wewnętrznej wykazywać twardość rzędu ok. 600⁰ Brinell'a. Z drugiej zaś strony rura musi na zewnątrz wykazywać plastyczność i ciągliwość, aby równoważyć obciążenia dynamiczne. Rura powinna również być lekka aby można było ją łatwo montować.

Produkcja rur o cienkiej homogenicznej ściance, która byłaby jednocześnie bardzo twarda od strony wewnętrznej jak i ciągliwa po stronie zewnętrznej, jest obecnie niemożliwa na skalę przemysłową. Dlatego ściankę rury typu SOLIDRESIST-600 wykonuje się z dwóch różnych materiałów. Uzyskuje się tutaj, po hartowaniu, w jednej cienkiej ściance pogodzenie dwóch przeciwstawnych własności fizycznych - wysokiej twardości i ciągliwości. Metoda produkcji rur typu SOLIDRESIST-600 zapewnia utrzymanie parametrów wysokiej twardości po stronie wewnętrznej i ciągliwości po stronie zewnętrznej.

Przykłady konstrukcyjne ukazują, że rury typu SOLIDRESIST-600 są nie tylko rurami o wysokiej twardości na ścieranie, ale mogą tworzyć kompletny system transportu hydraulicznego i pneumatycznego ciał stałych w górnictwie.

ДВУХСЛОЙНЫЕ, УПРОЧНЕННЫЕ, СТОЙКИЕ К ИСТИРАНИЮ СТАЛЬНЫЕ ТРУБЫ
ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ И ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ
В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Р е з ю м е

Трубопровод для транспортировки твёрдых тел с внутренней стороны должен проявлять твёрдость порядка ок. 600 Бринеллей. С другой стороны, трубы должны снаружи проявлять эластичность и тягучесть, чтобы уравновесить динамические нагрузки. Труба должна быть также лёгкой для того, чтобы её легко было смонтировать.

Производство труб в промышленных сериях с тонкими гомогенными стенками, которые были бы одновременно с внутренней стороны твёрдыми и с внешней стороны тягучими, в настоящее время невозможно. Поэтому, стенка трубы типа SOLIDRESIST-600 выполняется из двух различных материалов. После закаливания в этом случае получают совмещение двух физических свойств - высокой твёрдости и эластичности.

Метод производства труб типа SOLIDRESIST-600 обеспечивает поддержание параметров высокой твёрдости с внутренней стороны и эластичности с внешней

стороны. Конструкторские параметры показывают, что трубы этого типа являются не только трубами с высокой устойчивостью к истиранию, но и могут создавать комплектную систему гидравлического и пневматического транспортирования твёрдых тел в горной промышленности.