

Neue Entwicklungen auf dem Gebiet der Prüfung großer Schmiedeteile

Klaus LEUPOLDT^{*}, Heinz-Josef OTTE^{*}, Willibald MEISTER^{*}, Helmut PFEILER^{**}

^{*} Cegelec NDS, Nürnberg

^{**} Böhler Edelstahl, Kapfenberg, Österreich

Kurzfassung. Der Artikel beschreibt Systeme, die zur Prüfung von sehr großen Schmiedeteilen eingesetzt werden. Die Schwerpunkte liegen dabei auf der Mechanik, der Reproduzierbarkeit der Prüfergebnisse und den Möglichkeiten neuer Ultraschallanlagen.

Einführung

Seit mehr als 40 Jahren ist Cegelec NDS (früher MAN) aus Nürnberg als Mitglied der internationalen Gruppe Cegelec Nondestructive Testing (CNDT) als Dienstleister für mechanisierte ZfP auf dem Energie- und Transportsektor auf dem Markt vertreten. Prüfungssysteme für unterschiedlichste Anwendungsfälle werden entwickelt und weltweit vertrieben. Von Cegelec wurden für die mechanisierte Prüfung von Turbinen- und Generatorläufern das System TURO-MAN und für die Scheiben von Gas- und Dampfturbinen das System SIRO-MAN entwickelt.

In enger Zusammenarbeit mit unseren Kunden wurden für TURO-MAN - und SIRO-MAN - Systeme Abnahmen von allen großen Turbinenherstellern (ALSTOM, GE, Siemens etc.) erreicht.

TURO-MAN und SIRO-MAN werden mit Ultraschallgeräten vom Olympus NDT ausgestattet, für konventionelle Ultraschallanwendungen mit dem MS5800 und für Phased Array Anwendungen mit dem FocusLT.

TURO-MAN - Systeme wurden ausgeliefert für Läufer bis zu einer Länge von 20 m, Durchmesser 3.5 m und einer Masse von 400 Tonnen. SIRO-MAN - Systeme wurden bisher für einen Durchmesser bis 3.5 m, einer Höhe von 4.5 m und einem Gewicht von 100 to gebaut. Anlagen zur Prüfung der Zentralbohrung von Turbinenläufern, von Generatorkappen, von Materialien für die Flugzeugindustrie (Platten, Rund- und Stabmaterial) sowie Systeme zur Prüfung der Hohlachsen von Hochgeschwindigkeitszügen („SHUTTLE“) werden ebenfalls von uns geliefert.

SCHLÜSSELWÖRTER

Turbinenläufer, Generatorläufer, Turbinenscheibe, Ultraschallprüfung, konventioneller Ultraschall, Phased Array, Manipulator, SIRO-MAN, TURO-MAN, Anwendungssoftware TomoView, MS5800, FocusLT

1. *Einleitung*

Die Entwicklung von hocheffizienten Systemen für die Energie – Industrie ist verknüpft mit der Nachfrage nach immer größeren und schwereren Bauteilen. Aufgrund der hohen Belastungen dieser Bauteile steigen auch die Anforderungen an die Qualität der Bauteile. Eine hohe Qualität ist automatisch mit hohen Kosten verbunden, betreffend

- Material
- Herstellung und
- Bearbeitung

Vorhandene Materialfehler oder Fehlstellen sollten in einem möglichst frühen Stadium des Herstellungsprozesses aufgefunden werden um Folgekosten und Verzögerungen zu vermeiden. Der Hersteller hat bei einem frühzeitigen Erkennen eines Mangels in vielen Fällen noch die Möglichkeit den weiteren Herstellungsprozess für das Produkt anzupassen.

Schmieden sind an der Anwendung der mechanisierten ZfP interessiert, um die oben beschriebenen Risiken zu minimieren. Die meisten der großen Energiemaschinenhersteller akzeptieren mittlerweile nur noch Bauteile, die mechanisiert bzw. automatisiert geprüft wurden. Ein wichtiger Punkt ist dabei die Forderung nach einer vollständigen lückenlosen Dokumentation über die gesamte Lebenszeit eines Bauteils mit der Möglichkeit, die Ergebnisse einer beliebigen wiederkehrenden Prüfung mit denen der Basis- oder Fertigungsendprüfung vergleichen zu können.

Ein entscheidender Vorteil einer automatisierten bzw. mechanisierten Prüfung liegt in der detaillierten Präsentation der Prüfergebnisse, heute meist als farbkodierter Ausdruck (C-, B- und D-Bild, Polardarstellung) und einer automatisch erstellten Anzeigenliste, basierend auf den aufgezeichneten Prüfdaten.

Der Vergleich zweier farbiger Bilder ist auch für die ZfP – Spezialisten einfacher und effektiver als der Vergleich zweier handgeschriebener Prüfprotokolle, die nur auf den Erfahrungen der Prüfer beruhen.

Die Schwerpunkte der Präsentation sind die neuesten Entwicklungen bei der mechanisierten Prüfung von geschmiedeten sehr großen Bauteilen. Drei Punkte sind dabei von besonderem Interesse:

- Manipulatoren
- Phased Array Systeme
- Möglichkeiten der Auswertesoftware

2. *Manipulatoren*

Bauteile, die in den Abmessungen und dem Gewicht immer mehr zunehmen, müssen mit immer höherer Präzession bewegt werden.

Mit beiden nachfolgend beschriebenen Systemen kann eine absolute Positionsgenauigkeit von $\pm 1\text{mm}$ sowohl in der Umfangs-, als auch in der axialen Richtung erreicht werden; der Bereich für die Umfangsachse geht bis 11 m für einen Durchmesser von 3.5 m und 20 m in der axialen Richtung.

Beide Manipulatoren können mit konventionellen oder Phased Array Systemen ausgestattet werden.

Die Ankopplung der Prüfköpfe an die Bauteiloberfläche kann sowohl mit Wasser als auch mit Öl in einem geschlossenen Kreislauf realisiert werden.

2.1 TURO-MAN

Der TURO-MAN wurde speziell für die Prüfung großer Turbinen- und Generatorläufer entwickelt; er ist aus folgenden Hauptkomponenten aufgebaut:

- Zwei axial ausgerichtete Rollenpaare
- Lineares Führungssystem, zur Ausrichtung des Prüfkopfsystems in axialer, vertikaler und horizontaler Richtung
- Manipulatorsteuerung
- Ultraschallgerät (konventionell oder Phased Array)

TURO-MAN Systeme wurden an viele Kunden weltweit ausgeliefert, z.B.:

SdF in Terni, Italien

JSW, Japan,

Alstom, Deutschland

Alstom Chattanooga, USA,

Saarschmiede und Schmiedewerke Gröditz, Deutschland

Für unseren Kunden JSW haben wir den TURO-MAN III im Jahr 2002 ausgeliefert und in Betrieb genommen; er ist für die Prüfung von Rotoren mit einer Länge von 15 m, einem Durchmesser von 2 m und einem Gewicht von 300 to ausgelegt.

Die Ergebnisse, die mit dieser Anlage erzielt werden sind sehr gut: in der Mitte eines Bauteiles mit einem Durchmesser von 1800 mm kann ein Ersatzfehler von 0.9 mm nachgewiesen werden. Mit Phased Array kann ein noch um ca. 6 dB besserer Signal/Rauschabstand erreicht werden.



Fig. 2.1 TURO-MAN, installiert bei JSW

2.2 SIRO-MAN

Geschweißte Rotoren von Dampf- und Gasturbinen bestehen aus einer Anordnung von Turbinenscheiben, die ebenfalls mechanisiert geprüft werden müssen. Zu diesem Zweck wurde der SIRO-MAN von Cegelec NDS entwickelt.

Der SIRO-MAN ist aus folgenden Hauptkomponenten aufgebaut:

- Zentriereinheit mit dreifacher Rollenführung
- Lineares Führungssystem, zur Ausrichtung des Prüfkopfsystems in axialer, vertikaler und horizontaler Richtung
- Manipulatorsteuerung
- Ultraschallgerät, konventionell oder Phased Array (PA)

Der erste SIRO-MAN wurde im Jahr 1999 bei der Firma Böhler Edelstahl in Kapfenberg in Österreich aufgebaut und in Betrieb genommen.

Als Ultraschallgerät wurde ein 6 – kanaliges μ Tomoscan von der Firma R/DTech aus Kanada eingesetzt, das mit konventioneller Ultraschall – Prüftechnik arbeitet.

In den meisten Fällen – abhängig von der Prüfvorschrift – werden bei der Prüfung von Scheiben und Läufern von der äußeren zylindrischen Oberfläche viele unterschiedliche Einschallwinkel im und entgegen dem Uhrzeigersinn eingesetzt. Um diese Prüfaufgaben mit konventioneller Technik abzudecken, müssen sehr viele Einzelprüfköpfe eingesetzt werden.



Fig. 2.2 UT SIRO-MAN bei Böhler Edelstahl in Kapfenberg/Österreich



Fig. 2.3 Konventionelle Ultraschallprüfung, Prüfsystem mit 6 Einzelköpfen an einer Turbinenscheibe

Je höher die Anzahl der eingesetzten Prüfköpfe ist, desto schwieriger wird es auch eine gute Prüfkopfankopplung zu realisieren. Dieses Problem kann durch eine Reduzierung der Anzahl der eingesetzten Prüfköpfe gelöst werden. Dies ist möglich durch den Einsatz der PA-Technik, bei der ein Prüfkopf Ultraschallimpulse mit unterschiedlichen Einschallwinkeln aussenden kann.

Bei Böhler Edelstahl wurde im Jahr 2008 ein neues SIRO-MAN System mit PA – Technik installiert und in Betrieb genommen. Bei dem eingesetzten PA – Gerät handelt es sich um ein FocusLT der Firma OlympusNDT.

Ebenfalls mit diesem Gerät ausgerüstet sind die SIRO – MAN Anlagen bei ALSTOM in Birr / Schweiz und Chattanooga / Tennessee, USA sowie zwei Anlagen bei "Forge Saar" (Saarschmiede). Mit diesem Manipulator können alle Bauteiloberflächen (obere und untere Stirnfläche, Mantelfläche und Bohrung) von Turbinenscheiben oder beliebigen rotations-symmetrischen Bauteilen bis zu einem Durchmesser von 3.5 m, einer Höhe von 4.5 m und einem Gewicht von 100 to geprüft werden.

3. *Phased Array (PA) - Technik*

Bei der PA – Technik handelt es sich um ein Verfahren, das neben der Medizintechnik seit vielen Jahren für die Prüfung von Schlüsselkomponenten in der Nuklearindustrie angewendet wird. Aufgrund der Entwicklungen bei der Computerhardware und der Verfügbarkeit hochintegrierter elektronischer Bauteilen, sind PA – Systeme jetzt auch für Anwendungen bei Schmieden und Energiemaschinenherstellern verfügbar.

Der Hauptunterschied zu der konventionellen Prüftechnik besteht im Aufbau der Prüfköpfe. Konventionelle Ultraschallprüfköpfe haben einen oder zwei Schwinger, PA – Prüfköpfe können praktisch jede beliebige Form haben und eine beliebige Anzahl von Schwinger-elementen. Bei den Prüfköpfen, die heute zur Prüfung von Schmiedeteilen eingesetzt werden, handelt es sich normalerweise um lineare Arrays mit maximal 32 Elementen.

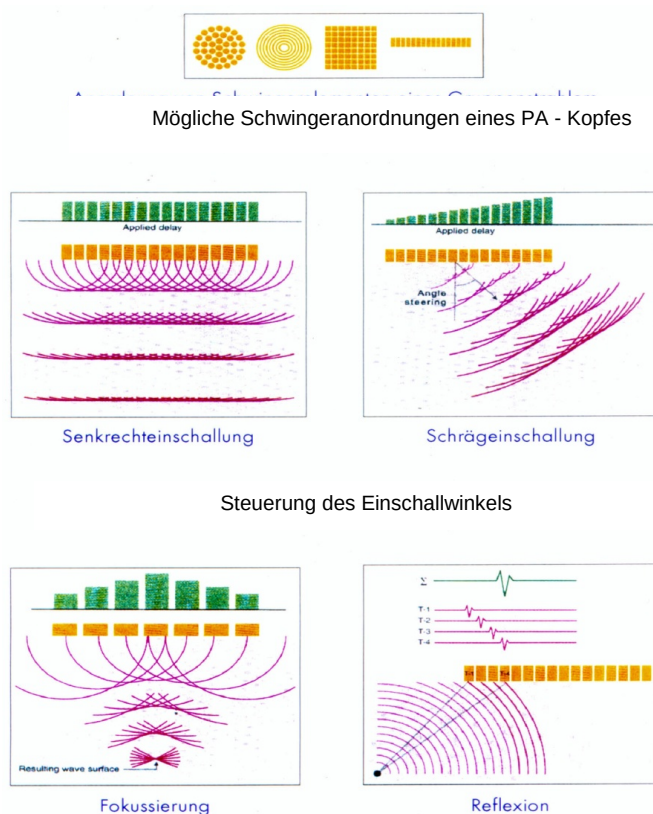


Abb. 3.1. Phased Array / Grundlagen

Zur Realisierung der unterschiedlichen Einschallwinkel, wird jedes dieser einzelnen Elemente mit einer berechneten zeitlichen Verzögerung, symbolisch dargestellt als grüner Balken in Abb. 3.1, angeregt.

PA – Prüfköpfe sind heute mit den gleichen Abmessungen wie konventionelle Prüfköpfe verfügbar; der größte Unterschied liegt bei den Anschlusskabeln. Hat ein Prüfkopf z.B. 32 einzelne Elemente, muss das Anschlusskabel auch 32 einzelne Leitungen besitzen.

3.1 Software

Die Entwicklungen auf dem Materialsektor haben zu einer Situation geführt, bei der der Stahl, der für die Energiemaschinen verwendet wird, nur noch eine sehr geringe oder praktisch keine Schallschwächung besitzt.

Das Vorhandensein einer nur sehr geringen Schallschwächung hat auch im Bezug zur ZfP zwei unterschiedliche Seiten:

Auf der einen Seite bedeutet das, dass es eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit für den Nachweis sehr kleiner Fehler gibt, auf der anderen Seite fördert das das Auftreten von sog. Geister- oder Phantomechos, besonders bei rotationssymmetrischen Bauteilen.

Das Auftreten von Geisterechos bedeutet, dass es Bereiche in den Schmiedestücken gibt, die nicht ausgewertet werden können.

Geisterechos haben nichts mit der Funktionalität der Ultraschallgeräte zu tun, bei ihnen handelt es sich praktisch um eine Materialeigenschaft.

3.1 Geister- oder Phantomechos

Während des Ablaufes einer mechanisierten Ultraschallprüfung befinden sich ein oder mehrere Prüfköpfe auf dem zu prüfenden Bauteil, das sich mit einer bestimmten Geschwindigkeit dreht. Falls keine Materialfehler vorhanden sind, läuft der Ultraschallimpuls durch das Bauteil, bis er aufgrund der Schallschwächung oder der Divergenz verschwindet; während des Weges durch das Bauteil können Reflexionen und Wellenumwandlungen (long – trans / trans – long) auftreten und der Ultraschallimpuls kann wieder die Positionen des sendenden Prüfkopfes oder die eines anderen Prüfkopfes erreichen, der momentan empfangsbereit ist. In diesem Fall wird ein Ultraschallsignal, das nichts mit einer echten Fehleranzeige zu tun hat, aufgezeichnet. Das A-Bild, Abb. 3.2, liefert die Information, dass sich z.B. kurz vor der Rückwand ein Fehler befindet.

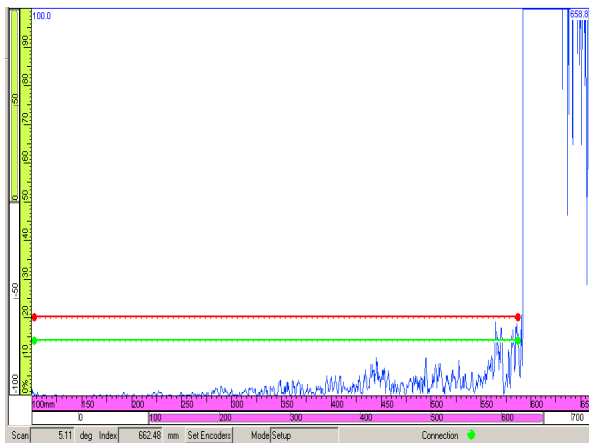


Abb. 3.2 A-Bild mit Geisterecho

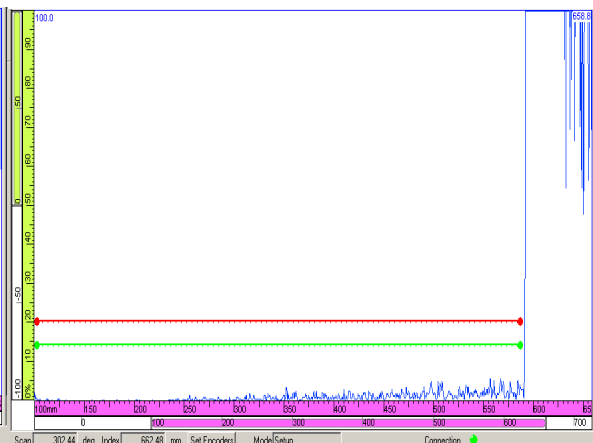


Abb. 3.3 A- Bild ohne Geisterecho

Im ungünstigsten Fall könnte sich hinter dem Geisterecho ein “echter” Fehler verbergen; das ist der Grund, wieso Geisterechos vermieden werden müssen.

Zur Vermeidung der Geisterechos gab es bisher zwei Verfahren:

- Verringerung der Prüfgeschwindigkeit (➔ niedrige PRF), führt aber zu langen Prüfzeiten
- Änderung der Reihenfolge der Prüfkanäle oder Montage der Prüfköpfe an anderen Positionen im Prüfsystem

Beide Methoden funktionieren aber jeweils nur in der aktuellen Situation, sie sind keine allgemeine Lösung. Zudem kann das Auffinden einer geeigneten Einstellung sehr lange dauern. Hat man für ein Bauteil eine geeignete Einstellung gefunden und wechselt zu einem anderen Bauteil mit geringfügig anderen Parameter, kann es sein, dass erneut Geisterechos auftreten und wieder eine neue Einstellung gesucht werden muss.

Diese Software berechnet automatisch die größtmögliche Prüfgeschwindigkeit, bei der keine Geisterechos auftreten. Das Prinzip, das dahinter steckt ist relative einfach:

Befindet sich das Prüfkopfsystem auf dem Bauteil, werden die A-Bilder aller Prüffunktionen betrachtet. Dann wird die sog. Recurrence Frequenz (interne PRF für jeden Kanal) automatisch

erhöht oder erniedrigt. Bei Anzeigen in den A-Bildern, die permanent vorhanden sind, handelt es sich um echte Anzeigen, bei Anzeigen, die mit sich ändernder Recurrence Frequenz auftreten oder verschwinden, handelt es sich um Geisterechos. Die Software wählt dann unter Berücksichtigung eines Sicherheitsabstandes die höchste Prüfgeschwindigkeit, bei der keine Geisterechos auftreten. Durch die Anwendung dieser Funktion bei der Prüfung (Abb. 3.2, A-Bild mit Geisterecho) erhält man ein A-Bild ohne störende Echos (Abb. 3.3, A-Bild ohne Geisterecho). Dieses A-Bild liefert dann die Information, dass sich keine Fehler vor der Rückwand befinden und dass es auch keine nicht auswertbaren Bereiche gibt. Dadurch kann im Mittel eine um ca. 50% höhere Prüfgeschwindigkeit erreicht werden, wobei die Zeit zum Auffinden einer geeigneten Parametereinstellung noch nicht berücksichtigt ist.

3.2 Weitere Möglichkeiten der Software

Die Funktionalität der Software hat sich parallel zur Gerätehardware ebenfalls weiterentwickelt. Neue Möglichkeiten wie z.B. eine automatisierte Anzeigenliste stehen jetzt zur Verfügung.

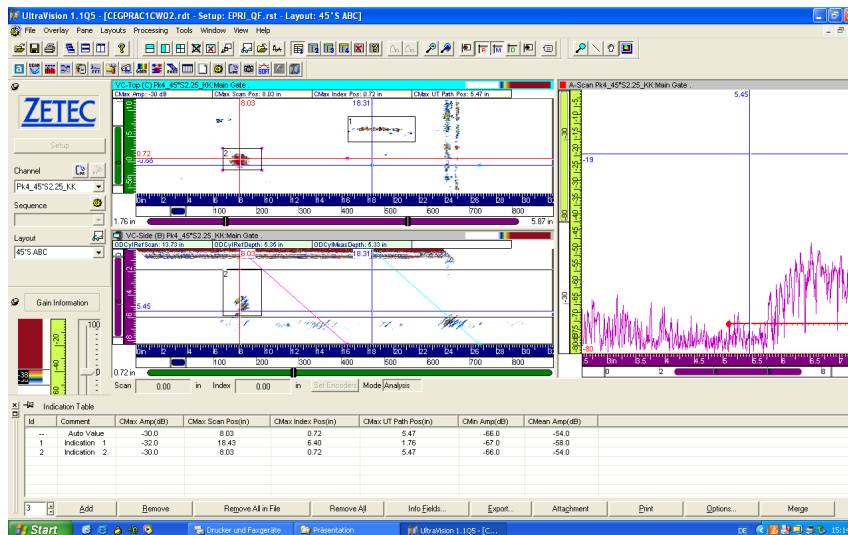


Abb.. 3.4 C-, B- und A-Bild / Erzeugung einer Anzeigenliste

TomoView ermöglicht den Export einer Anzeigenliste nach WORD oder EXCEL, wo die Daten für weitere Analysen, Berechnungen oder zur Dokumentation verwendet werden können.

Die Polardarstellung erlaubt dem Auswerter direkt eine Aussage zu machen, wo sich eine Anzeige oder ein Fehler innerhalb eines Bauteiles befindet.

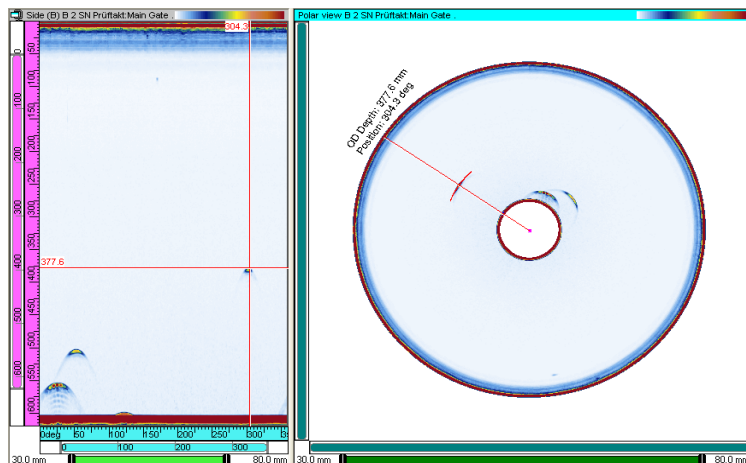


Abb.. 3.5 B-Bild und Polardarstellung

4. Zusammenfassung

Nicht nur die Anforderungen an die technischen Systeme steigen laufend, sondern auch die Anforderungen an das Prüfpersonal. Mit den wachsenden Anforderungen ist es entscheidend für die Firmen, auf sehr gut ausgebildetes und motiviertes Prüfpersonal zugreifen zu können.

Das Personal, das mit diesen Anlagen arbeitet, braucht weiterhin die Erfahrung und Ausbildung als UT – Spezialist, besonders wenn es darum geht Prüfsysteme zu kalibrieren oder Prüfergebnisse zu interpretieren. Zusätzlich werden Computer- und Softwarekenntnisse benötigt, um diese automatisierten Anlagen ordnungsgemäß bedienen zu können.

Die beste Prüfanlage ist wertlos, wenn das Personal nicht motiviert und nicht genügend ausgebildet ist.

Um das Bedienpersonal dahin zu bringen, bieten wir umfangreich Schulungen an.

In den letzten Jahren hat es riesige Entwicklungen auf dem Gebiet der der mechanisierten zerstörungsfreien Prüfungen gegeben, welche alle in unseren Systemen berücksichtigt worden sind.

Die von Cegelec NDS gelieferten Systeme erlauben es unseren Kunden Prüfungen an ihren Produkten nach dem neuesten Stand der Technik durchzuführen. Sie erfüllen die von den Energiemaschinenherstellern gestellten Anforderungen, dass nur noch Bauteile akzeptiert werden, die mit von ihnen abgenommenen Anlagen mechanisiert geprüft wurden.

Alle gezeigten Systeme wurden in enger Zusammenarbeit mit unseren Kunden ausgelegt, angepasst an ihre speziellen Bedürfnisse. Anlagen für andere Abmessungen und Bauformen sind jederzeit möglich.